AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRRESTES ANTT

RECURSO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO RDT:

ANÁLISES DO COMPORTAMENTO E DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS DA VIA040 BRASÍLIA/DF A JUIZ DE FORA/MG

RELATÓRIO FINAL

Nova Lima/MG, Dezembro de 2016.

RECURSO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO RDT
ANÁLISES DO COMPORTAMENTO E DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS DA VIA040, BRASÍLIA/DF A JUIZ DE FORA/MG

RESUMO: Apresenta-se o projeto de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT), que tem por objetivo analisar o comportamento e desempenho dos pavimentos da Via040 (Brasília/DF a Juiz de Fora/MG). Por meio de análises de resultados de monitorações e ensaios de campo e laboratoriais busca-se implantar um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) calibrado para fornecer previsões de deterioração consistentes com o desempenho dos pavimentos. O projeto também prevê capacitação técnica e formação sólida de futuros profissionais, por meio da experiência e vivência adquiridas com os trabalhos práticos fundamentados em teorias modernas de Mecânica e Gerência de Pavimentos. As rodovias com características similares, que interceptam ou não a Via040, implantadas ou planejadas, também serão favorecidas, pois as informações contidas no Banco de Dados e as análises de desempenho poderão ser utilizadas como referência para elaboração de estudos e projetos. Para tal aproveitamento serão selecionadas Unidades de Amostragem (UAs) que possam abranger vários Segmentos Homogêneos (SHs) da Via040. A melhor compreensão do comportamento dos pavimentos contribuirá para a definição das soluções mais eficazes na aplicação dos recursos disponíveis, em diversos níveis de intervenção, de sorte a responder às necessidades dos usuários, de forma sustentável para preservação e melhoria da qualidade ambiental. Assim, o projeto busca alcançar retornos positivos para a sociedade e para o meio ambiente, devido à maior compreensão do comportamento dos pavimentos, à melhoria do processo da gestão e do processo decisório e ao aperfeiçoamento de pessoal.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentos, Monitorações, Ensaios, Desempenho, Gerência.

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT RESOURCE TDR
ANALYSIS OF BEHAVIOR AND PERFORMANCE OF VIA040'S PAVEMENTS, FROM BRASÍLIA/FEDERAL DISTRICT TO JUIZ DE FORA/MINAS GERAIS

ABSTRACT: This paper presents RDT project, which intends to analyze behavior and performance of Via040's pavements (from Brasília/Federal District to Juiz de Fora/Minas Gerais). Through field investigations, laboratory testing and analysis of monitoring results, a Pavement Management System (PMS) will be calibrated. This system aims to provide predicting deterioration consistent with pavements' performance. Throughout the project, technical training of future professionals will be provided. The training process will be carried out, using experience-based techniques and practical work grounded on modern theories of Mechanics and Management of Pavements. The highways constructed or planned with similar features to Via040 will also be favored, due to the information contained in the database and to the analysis of performance. Both the information and the analyses could be used as references for studies and designs. For such utilization, Sampling Units (SUs) which are able to comprise several Homogeneous Sections (HSs) of Via040 will be selected. A better understanding of pavements' behavior will contribute to the definition of more effective solutions in applying the resources available, at various levels of intervention. By these means, the project aims to meet the needs of users, in a sustainable way for preservation and enhancement of environmental quality. Therefore, RDT project intend to reach positive returns to society and to the environment, insofar as greater understanding of the behavior of pavements, better decision-making processes and personal enhancement are achieved.

KEYWORDS: Pavement, Monitoring, Testing, Performance, Management.

ÍNDICE

I – INTRODUÇÃO 7

II – OBJETIVO 10

III – MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS 11

IV - UNIDADES DE AMOSTRAGEM (UAs) 12

V – ESCOPO DO TRABALHO 15

VI – METODOLOGIA 18

VI.1 – SÉRIE HISTÓRICA 19

VI.2 - BANCO DE DADOS E SISTEMA GERENCIADOR DE DADOS (SGD) 29

VI.3 - LVC INFORMATIZADO PELO MÉTODO DA VARREDURA 31

VI.3.1 – PROCEDIMENTO DO LVCI PELO MÉTODO DA VARREDURA 32

VI.4 – NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO DOS PAVIMENTOS 45

VI.5 - CONDIÇÕES DE DRENAGEM E CLIMA 55

VI.6 – GEOMORFOLOGIA 59

VI.7 – TRÁFEGO 62

VI.8 – ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS 66

VI.9 - ORGANIZAÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES NO SGD 69

VI.10 - DEFINIÇÃO DA SEGMENTAÇÃO HOMOGÊNEA 79

VI.10.1 - MÉTODO DAS DIFERENÇAS ACUMULADAS 79

VI.10.2 – SEGMENTOS HOMOGÊNEOS 83

VI.11 - DEFINIÇÃO DAS UNIDADES DE AMOSTRAGEM UAS 86

VI.11.1 – ABRANGÊNCIA DAS UNIDADES DE AMOSTRAGEM 89

VI.12 - BASE GEORREFERENCIADA DO EIXO DA RODOVIA E SEÇÕES DE TERRAPLENAGEM 101

VI.13 - ÍNDICES DE GEOMETRIA DA RODOVIA 102

VI.13.1 - ÍNDICE DE GEOMETRIA VERTICAL **103**

VI.13.2 - ÍNDICE DE GEOMETRIA HORIZONTAL **104**

VI.14 - SISTEMA HDM-4 (*HIGHWAY DEVELOPMENT AND MANAGEMENT*) **106**

VI.14.1 - CURSO HDM-4, FASE 1 (NÍVEL BÁSICO) **108**

VI.14.2 - CURSO HDM-4, FASE 2 (NÍVEL AVANÇADO) **111**

VI.15 - AQUISIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DO LABORATÓRIO PARA CAPACITAÇÃO TÉCNICA **114**

VI.15.1 – EQUIPAMENTOS **116**

VI.16 - PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO TÉCNICA (PROGRAMA DE ESTÁGIOS) **118**

VI.16.1 - PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO TÉCNICA (PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS) **118**

VI.16.2 - CAMPANHAS DE CAMPO 01 E 02 **120**

VI.16.3 – MANUAIS DE ENSAIOS LABORATORIAIS E DE CAMPO **132**

VI.17 - ANÁLISES DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO **134**

VI.17.1 - ENSAIO TRIAXIAL DE CARGAS REPETIDAS **136**

VI.17.2 - ANÁLISE DOS ENSAIOS TRIAXIAIS DE CARGA REPETIDA **149**

VI.17.3 - MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE MISTURAS ASFÁLTICAS **158**

VI.17.4 - ANÁLISE DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CARGA REPETIDA **170**

VI.17.5 - VIDA DE FADIGA **171**

VI.17.5.1 – ANÁLISE DOS ENSAIOS DE VIDA DE FADIGA **176**

VI.18 - ANÁLISES DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS **178**

VI.18.1 – AVALIAÇÃO ESTRUTURAL **181**

VI.18.2 – ESTUDO DE RETROANÁLISE DE MÓDULOS DE RESILIÊNCIA **189**

VI.18.3 – INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DAS CAMADAS NA BACIA DEFLECTOMÉTRICA **238**

VI.19 – ANÁLISES DE PREVISÃO DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS **240**

V.19.1 – ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA HDM-4 **240**

VI.19.2 - CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES DE AMOSTRAGEM (UAs) 241

VI.19.3 – CONFIGURAÇÃO DE CLIMA NO HDM-4 247

VI.19.4 – FROTA DE VEÍCULOS 251

VI.19.5 - CARREGAMENTO DO EIXO 255

VI.19.6 - NÚMERO "N" E O MODELO HDM-4 263

VI.19.7 - COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO DA FROTA DE VEÍCULOS 267

VI.19.8 - NORMALIZAÇÃO DAS DEFLEXÕES MÁXIMA (D_0) OBTIDAS PELO FWD 268

VI.19.9 - AVALIAÇÃO DO ATRITO DO PAVIMENTO 271

VI.19.10 - MONTAGEM DA MALHA RODOVIÁRIA 279

VI.19.11 - POLÍTICA DE MANUTENÇÃO 287

VI.19.12 – PREVISÃO DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS 287

VI.19.13 - ANÁLISES COMPARATIVAS DOS CENÁRIOS DE DESEMPENHO 349

VII – CONCLUSÕES 354

REFERÊNCIAS 355

ANEXO I - RESULTADOS DOS ENSAIOS 361

ANEXO II – MANUAIS DOS ENSAIOS 539

I – INTRODUÇÃO

A Via040 (Figura 1) trecho com 936,8 km da rodovia BR-040, entre Brasília/DF e Juiz de Fora/MG, interliga duas importantes regiões do país (Sudeste ao Centro Oeste) e se destaca pela relevância estratégica para o desenvolvimento da economia brasileira. Inúmeras empresas nacionais e estrangeiras instaladas às margens da Via040 ou em cidades próximas vêm investindo pesados aportes na ampliação de suas unidades, com geração de empregos diretos e indiretos. A rodovia também faz ligação com outros importantes eixos produtores. Ao elevado volume de tráfego de caminhões, soma-se a movimentação de ônibus e veículos de passeio resultante de transportes de diferentes naturezas, desde negócios até turismo. É de suma importância para o escoamento da produção e transportes diversos, que as condições funcionais e estruturais dos pavimentos da rodovia garantam a agilidade e segurança do tráfego, com baixos custos operacionais dos veículos. Para tanto, é necessária uma gestão dos dados relativos à pavimentação para compreender os mecanismos que governam o comportamento dos pavimentos e desenvolver técnicas e soluções que retornem em resultados positivos para a sociedade e meio ambiente.

Os pavimentos rodoviários representam um valioso patrimônio cuja conservação e restaurações oportunas são essenciais para a sua preservação e para o tráfego de veículos necessários à economia e desenvolvimento do país. A Gerência de Pavimentos constitui-se em uma importante ferramenta de administração, objetivando determinar a forma mais eficaz da aplicação dos recursos disponíveis, em diversos níveis de intervenção, de sorte a responder às necessidades dos usuários dentro de um plano estratégico que garanta a melhor relação Custo x Benefício (IPR-745, 2011). A função do Sistema de Gerência de Pavimentos SGP é aumentar a eficiência das tomadas de decisão, expandir seu escopo, fornecer *feedback* quanto às consequências das decisões, facilitar a coordenação das atividades dentro da organização e assegurar a consistência das decisões tomadas em diferentes níveis de gerência dentro da mesma organização (Gonçalves, 1999). Um pavimento, que é restaurado no momento adequado, poderá exigir apenas uma camada delgada de recapeamento, sobreposta à estrutura atual, sendo de custo relativamente baixo (Visconti, 2000). Entretanto, se restaurado apenas quando este atingir condição mais avançada de solicitação, o pavimento excessivamente deteriorado exigirá serviços cujos custos atingirão valores bastante superiores.

Um aspecto importante da gerência de pavimento é a estruturação de dados da malha rodoviária em um Banco de Dados compatível com um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) que permita a elaboração de avaliações de desempenho do pavimento e econômicas. O Brasil é um dos países pioneiros no desenvolvimento de modelos de comportamento de pavimentos para aplicação em processos gerenciais de malhas viárias. Um dos sistemas de gerência de pavimentos mais utilizado mundialmente, o HDM-4, e que tem sido aceito por entidades

internacionais de financiamentos, como o BIRD (Banco Mundial) e BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento), foi desenvolvido, em grande parte, a partir de pesquisas realizadas no Brasil (Norma DNER-PRO 159/85 e GEIPOT, 1982). Os modelos de desempenho pela norma DNER-PRO 159/85 são resultantes da análise do comportamento de algumas seções de pavimentos asfálticos flexíveis e semi-rígidos no Brasil, em fins da década de 1970 até meados da década de 1980. O método estabelece equações para previsão da evolução dos diversos tipos de defeitos ao longo da utilização de um pavimento e permite a proposição de medidas de manutenção (restauração) ao longo dos anos, buscando soluções de menor custo global. Em linhas gerais, esse método, em função dos dados observados em campo (tráfego, deflexão, irregularidade, área de trincas, desgaste etc.), apresenta equações que simulam o comportamento do pavimento ao longo do tempo, que são chamadas de modelos de desempenho.

Os resultados obtidos pela aplicação de tecnologias, técnicas e métodos de domínio próprio da Via040 permitirão a elaboração de avaliações mais consistentes com a condição do pavimento, aumentando a confiabilidade das informações monitoradas e o nível de compreensão da mecânica dos pavimentos. Nesse contexto, a aplicação de equipamentos e metodologias mais modernas podem proporcionar maior qualidade e precisão nas informações contidas num Banco de Dados que alimentarão um sistema de gerência de pavimentos, como por exemplo, o HDM-4, responsável pela elaboração dos cenários de deterioração dos pavimentos por meio de seus modelos de previsão de desempenho.

Os setores técnico e administrativo da concessionária Via040 e o meio técnico-científico em seus diversos níveis serão beneficiados com o desenvolvimento do projeto de RDT, que propõe apresentar um conjunto de dados sobre pavimentação da rodovia BR-040 e a tendência de comportamento dos pavimentos, obtidos por pesquisas e equipamentos, técnicas e métodos modernos voltados para um sistema de gerência de pavimentos (SGP). A capacitação técnica resultante de um programa de estágio, contemplando mais de uma faculdade de engenharia civil, proporcionará uma formação sólida dos futuros profissionais, através da experiência e vivência adquiridas com os trabalhos práticos fundamentados em teorias modernas de mecânica e gerência de pavimentos. As rodovias adjacentes, que interceptam ou não a Via040, implantadas ou planejadas, também serão favorecidas, pois as informações contidas no Banco de Dados (série histórica e resultados ensaios, monitorações e levantamentos) e os cenários de desempenho separados por segmentos e Unidades de Amostragem (UAs), sendo representativos das condições dessas rodovias, podem ser utilizados como referência para elaboração de estudos e projetos, desde restauração até implantação de rodovias. A maior compreensão do comportamento dos pavimentos contribuirá na definição das soluções mais eficazes da aplicação dos recursos disponíveis, em diversos níveis de intervenção, de sorte a responder às necessidades dos usuários, de forma sustentável para preservação e melhoria da qualidade ambiental. Assim, haverá retornos positivos para a sociedade e meio ambiente, devido à maior compreensão dos mecanismos que controlam o comportamento dos pavimentos, à maior possibilidade de serem adotadas decisões corretas e ao aperfeiçoamento de pessoal.

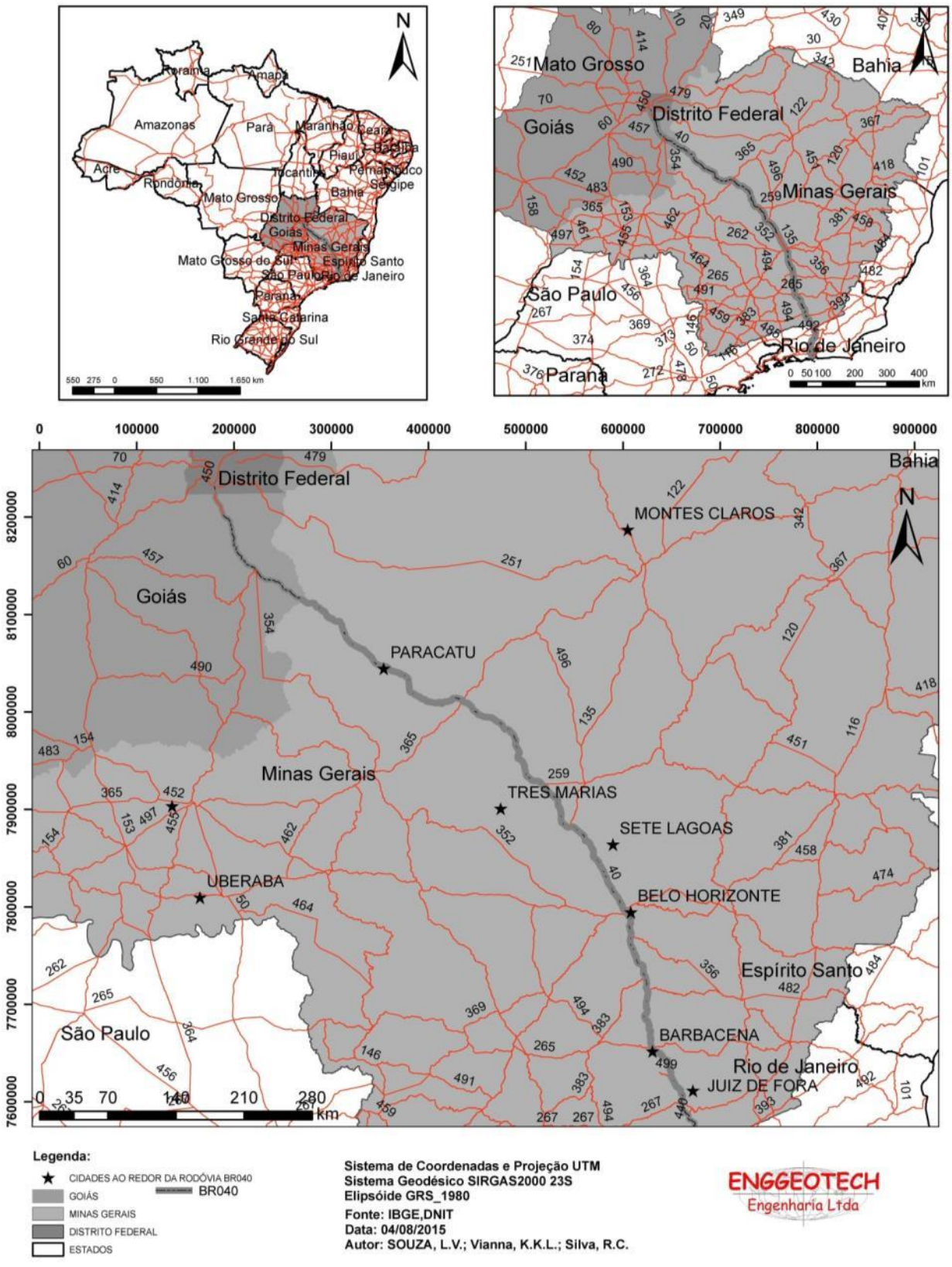


Figura 1 – Mapa de localização da Via040.

II – OBJETIVO

O alvo da pesquisa de RDT é a compreensão do comportamento e desempenho dos pavimentos da Via040 e a Capacitação Técnica de jovens acadêmicos de engenharia civil. Esses objetivos serão alcançados por meio de um conjunto de informações inseridas em um sistema gerenciador de dados e nas análises de resultados de monitorações, levantamentos e ensaios de campo e laboratoriais com o envolvimento de acadêmicos de cursos de engenharia civil supervisionados e orientados pela Equipe Técnica da concessionária Via040.

Para compreensão do comportamento dos pavimentos é necessário desenvolver atividades inerentes a um SGP, que envolvem desde a montagem de um Banco de Dados (BD) contendo informações sobre as características da rodovia e pavimentação até a elaboração de cenários de desempenho dos pavimentos. Para alimentação do BD é necessário realizar pesquisas sobre a série histórica da rodovia, executar monitorações, levantamentos e ensaios com métodos e técnicas condizentes com teorias e práticas modernas de mecânica e gerência de pavimentos e definir Segmentos Homogêneos e Unidades de Amostragem (UAs) da rodovia. Para auxiliar as análises desse conjunto de informações é fundamental o uso de um Sistema Gerenciador de Dados (SGD). Os cenários de desempenho dos pavimentos ao longo do tempo devem ser avaliados por meio de modelos pré-estabelecidos no SGP. A participação e a interação de recursos humanos no desenvolvimento de todas essas atividades proporcionará a capacitação técnica da equipe. Na Figura 2 apresenta-se o fluxograma dos trabalhos para alcançar gradativamente um entendimento mais analítico da mecânica dos pavimentos para reduzir a parcela do empirismo que é inevitável no atual estado da arte (caixas de cor azul).

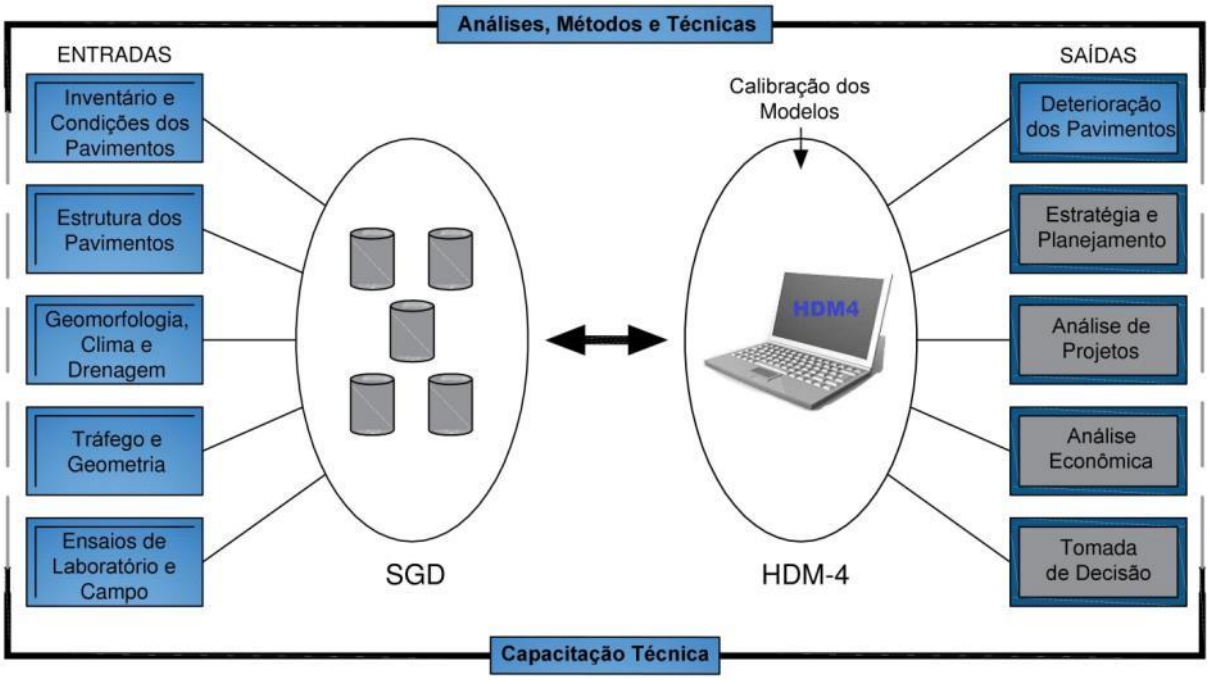


Figura 2 – Fluxograma das atividades para análise do desempenho dos pavimentos.

III – MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS

Previsão de desempenho de pavimentos é a quantificação da redução do nível de serventia ou geração de defeitos ao longo de sua vida de serviço (IPR-720, 2006). Na pesquisa de RDT será utilizado o sistema HDM-4 (*Highway Development and Management*) desenvolvido pelo Banco Mundial, que já vem sendo usado há mais de duas décadas, combinando a avaliação técnica e econômica nas redes de rodovias. É uma ferramenta em ambiente *Windows* e este modelo está sendo ampliado consideravelmente, superando as avaliações tradicionais de projetos, proporcionando um potente sistema para análises de gestão de rodovias e das alternativas de investimento.

O programa HDM-4 é formado por quatro sub-modelos que têm funções específicas em cada fase de um processo de gerência de pavimentos: deterioração de rodovias (RD); efeito das intervenções nos trabalhos de manutenção (MIE); efeito sobre os custos dos usuários (RUC); e sócio econômico (SEC).

O sistema modular, com uma interface integrada entre os módulos, possibilita aos usuários a substituição de modelos técnicos inadequados por seus próprios modelos. O HDM-4 é muito eficiente quando é calibrado de acordo com o comportamento do pavimento frente à ação dos agentes externos. A Via040 pretende melhorar a precisão da aplicação do HDM-4, para que as tomadas de decisão sejam mais racionais e, assim, possa atingir as metas de sustentabilidade, através da aplicação de recursos humanos e financeiros e matérias primas em quantidade adequada, sem excessos, antes que o pavimento se aproxime de um grau de deterioração avançado, que exigiria maiores esforços e impactos ambientais.

O HDM-4 será alimentado com os dados existentes organizados no SGD, sendo elaboradas as curvas de desempenho do pavimento das Unidades de Amostragem (UAs). Este será o cenário inicial de desempenho do pavimento. À medida que mais campanhas de monitoração forem realizadas podem-se ajustar as curvas de desempenho. Na Figura 3 exemplifica-se o ajuste da curva de calibração do trincamento de um pavimento, um dos parâmetros que define o tempo de vida útil do pavimento. Na Figura 4 apresentam-se três curvas de progressão de trincamento no pavimento para um mesmo trecho da rodovia. Adotando o critério de intervenção quando o pavimento atingir 40% de trincamento, sendo a curva intermediária a mais adequada, pode haver uma tomada de decisão precoce ou tardia, caso a mesma não seja considerada. Assim, destaca-se a importância da calibração dos modelos para cada cenário onde o mesmo é aplicado, sendo fundamental em todo o processo de planejamento futuro, uma vez que previsões de desempenho adequadas levarão a diagnósticos acurados e desta forma, alocações de recursos mais confiáveis e estritamente necessários.

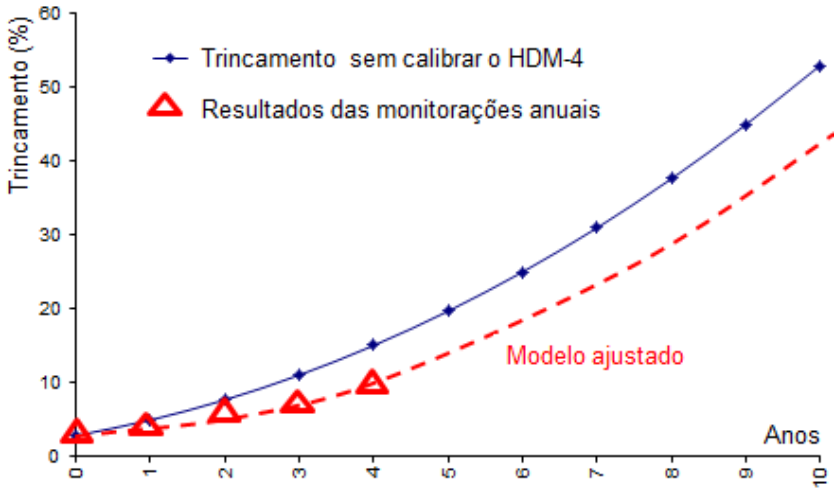


Figura 3 – Calibração de modelos de previsão de desempenho.

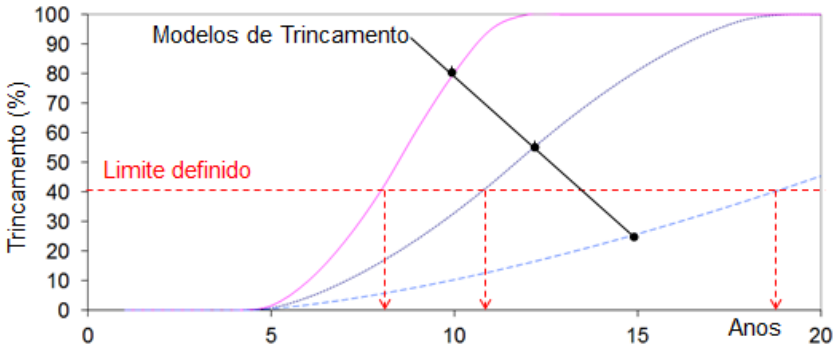


Figura 4 – Tomada de decisão precoce ou tardia em função do uso de modelos inadequados.

IV - UNIDADES DE AMOSTRAGEM (UAs)

As Unidades de Amostragem (UAs) são trechos considerados representativos das características e condições de um conjunto de segmentos homogêneos, que servem para melhorar o nível de compreensão do comportamento do pavimento e, por consequência, calibrar os modelos de previsão de desempenho do HDM-4. Através de uma UA é possível acompanhar a evolução de suas condições funcionais e estruturais ao longo do tempo, havendo uma melhor compreensão dos comportamentos e desempenhos dos pavimentos da Via040. Nas UAs serão realizados ensaios e monitorações para obtenção de dados necessários para elaboração de análises do comportamento e desempenho do pavimento e estabelecimento do Fator Laboratório-Campo (FLC). O FLC serve para ajustar a vida de fadiga estimada por ensaios de laboratório às condições de campo. Segundo Medina e Motta (2015), há que se considerar a repetição de cargas mais espaçadas no campo, permitindo, eventualmente, recuperação por solda parcial das fissuras

nas condições mais elevadas de temperatura de campo no Brasil. Há, também, a variabilidade de incidência lateral nas trilhas de roda e o envelhecimento no campo do ligante asfáltico, que enrijece a mistura. Parte do FLC se destina a corrigir a severidade dos ensaios de fadiga, especialmente os de compressão diametral à tensão controlada.

Para que os modelos forneçam respostas consistentes com aquelas observadas em campo são necessários pelo menos cinco anos para montar um banco de dados com informações suficientes para calibrar ou até mesmo propor modelos de previsão de desempenho. Assim, o foco dessa etapa da pesquisa, primeiro ano, é a definição de segmentos representativos das condições de parte dos pavimentos da Via040, nos quais serão concentrados os esforços de pesquisa, envolvendo a realização de monitorações e ensaios de campo e laboratoriais. Os estudos serão aprimorados com o tempo, em função da quantidade e qualidade das informações, proporcionando uma melhor compreensão dos mecanismos de deterioração dos pavimentos.

Considerando o tráfego como um dos parâmetros iniciais da hierarquia adotada para a segmentação, tem-se que seriam necessárias no mínimo 20 UAs. O número de UAs poderia ser maior que o apresentado no Plano de Trabalho do RDT, entretanto, até o final da primeira etapa da pesquisa (abril/2016), limitou-se a uma quantidade de 10 UAs para que seja possível realizar os ensaios de campo e laboratório necessários para as análises, sem comprometer a qualidade das informações e do programa de capacitação técnica. Visto que 10 UAs não são suficientes para representação dos segmentos da Via040, a partir de 2016 serão implantadas novas UAs, com base nas análises do SGD e, principalmente, nas análises com uso de SIG. Os resultados das monitorações posteriores serão utilizados para verificar se realmente as curvas de desempenho refletem o comportamento dos pavimentos avaliados.

As UAs foram definidas seguindo a mesma linha de raciocínio de Kohler *et al*., 2006 e Albuquerque (2007), a qual faz hierarquização das características e condições da rodovia. A definição das UAs foi realizada através da aplicação do critério de hierarquia na seguinte ordem: Unidade de Federação → Região Climática → Geomorfologia → Tráfego → Deflexão → Trincamento → Estrutura do Pavimento → Afundamento de Trilha de Roda → Irregularidade Longitudinal (IRI). A determinação das UAs foi realizada com auxílio do Sistema Gerenciado de Dados (SGD), executando a função de filtro na Matriz dos Segmentos Homogêneos. Ainda que não representem todos os segmentos da Via040, as Unidades de Amostragem (UAs), selecionadas para a primeira fase do projeto de RDT (2015), representam uma quantidade e extensão significativa de Segmentos Homogêneos (SHs).

Na Figura 5 apresenta-se o mapa rodoviário com a indicação das UAs ao longo do eixo da Via040: BR-040/GO km 97+625 e BR-040/MG km 52+065, km 153+250, km 260+470, km 352+550, km 407+650, km 574+600, km 644+770, km 708+650 e km 769.

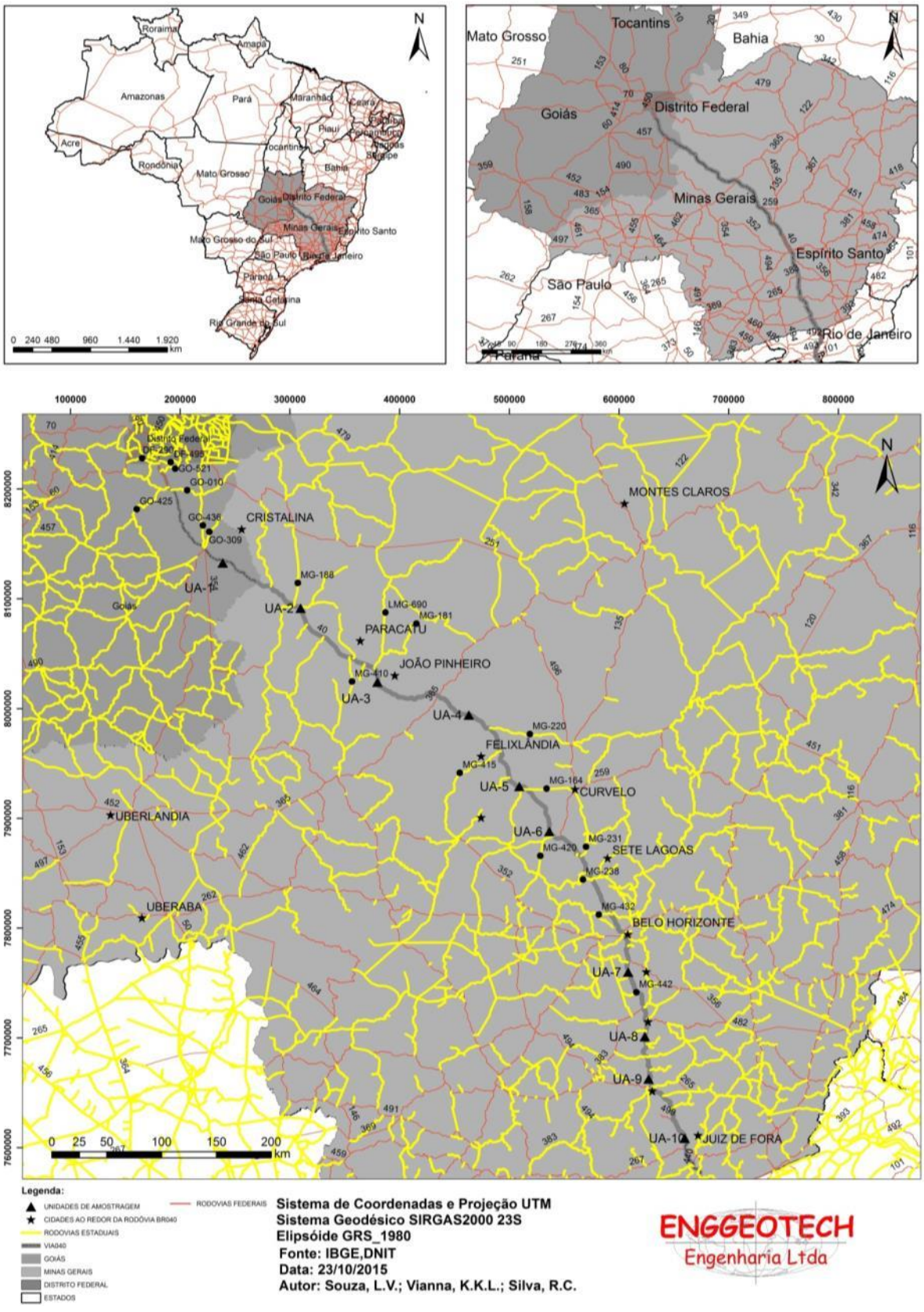

Roraima
Amapá
Amazonas
Pará
Maranhão
Ceará
Piauí
Acre
Tocantins
Rondônia
Mato Grosso
Bahia
Goiás
Distrito Federal
Minas Gerais
Espírito Santo
Mato Grosso do Sul
São Paulo
Rio de Janeiro
Paraná
Santa Catarina
Rio Grande do Sul
0 240 480 960 1.440 1.920 km
Tocantins
Bahia
Mato Grosso
Goiás
Distrito Federal
Minas Gerais
Espírito Santo
São Paulo
Rio de Janeiro
Paraná
100000 200000 300000 400000 500000 600000 700000 800000
8200000
8100000
8000000
7900000
7800000
7700000
7600000
MONTES CLAROS
CRISTALINA
PARACATU
JOÃO PINHEIRO
FELIXLÂNDIA
CURVELO
UBERLANDIA
SETE LAGOAS
UBERABA
BELO HORIZONTE
JUIZ DE FORA
UA-1
UA-2
UA-3
UA-4
UA-5
UA-6
UA-7
UA-8
UA-9
UA-10
GO-521
GO-010
GO-425
GO-436
GO-309
MG-188
LMG-690
MG-181
MG-410
MG-220
MG-415
MG-164
MG-231
MG-420
MG-238
MG-432
MG-442
0 25 50 100 150 200 km
Legenda:
UNIDADES DE AMOSTRAGEM
CIDADES AO REDOR DA RODOVIA BR040
RODOVIAS ESTADUAIS
VIA040
GOIÁS
MINAS GERAIS
DISTRITO FEDERAL
ESTADOS
RODOVIAS FEDERAIS
Sistema de Coordenadas e Projeção UTM
Sistema Geodésico SIRGAS2000 23S
Elipsóide GRS_1980
Fonte: IBGE,DNIT
Data: 23/10/2015
Autor: Souza, L.V.; Vianna, K.K.L.; Silva, R.C.
ENGGEOTECH
Engenharia Ltda

Figura 5 - Mapa Rodoviário com a indicação das Unidades de Amostragem (UAs) ao longo do eixo da Via040.

V – ESCOPO DO TRABALHO

A seguir apresentam-se as atividades que foram desenvolvidas durante os Trimestres 01, 02, 03, 04 e 05 (fevereiro de 2015 a abril de 2016) da presente pesquisa de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT), em ordem sequencial, conforme indicado no Plano de Trabalho:

Série Histórica

- Coleta, Organização e Armazenamento de informações existentes sobre a rodovia BR-040 (Brasília/DF a Juiz de Fora/MG).

Tráfego

- Contagens Volumétricas e Classificatórias - 24 h/dia, totalizadas por intervalo de 60 minutos, durante 7 dias para classificação e composição da frota circulante (37 contagens - 23 postos: 14 sub-trechos de pista dupla e 9 sub-trechos de pista simples).

- 9 Pesagens de Veículos (9 postos).

Condições dos Pavimentos (Superfície e Drenagem) e Aspectos Geomorfológicos

- Levantamento Visual Contínuo LVC para qualificação e quantificação dos defeitos dos pavimentos, em conformidade também com o padrão de alimentação do modelo HDM-4, incluindo registro de imagens.

- Inspeção da Rodovia para reconhecimento dos pavimentos (incluindo avaliação visual dos níveis de deterioração), das condições de drenagem e das unidades geológica-geotécnicas interceptadas pelo traçado para fins de pré-definição dos Sub-Trechos Homogêneos.

Estrutura dos Pavimentos

- Determinação das espessuras das camadas dos pavimentos, tipo e condições dos materiais constituintes com uso do GPR (*ground penatrating radar*).

Sistema Gerenciador de Dados (SGD)

- Elaboração do Sistema Gerenciador de Dados (SGD), Manual do Usuário e Curso para uso do SGD.

Organização, Estruturação e Armazenamento das Informações no SGD

- Organização, Estruturação e Armazenamento de informações existentes sobre a rodovia BR-040 (Brasília/DF a Juiz de Fora/MG) no Sistema de Gerência de Dados (SGD).

Definição da Segmentação Homogênea

- Elaboração de análises mais avançadas para o refinamento da definição dos sub-trechos (segmnentos) homogêneos e pré-determinação das Unidades de Amostragem UAs. Na definição dos segmentos homogêneos foram consideradas as informações do tráfego, compartimentos geomorfológicos, estrutura do pavimento (medida com GPR) e parâmetros dos pavimentos que refletem as condições funcional e estrutural.

Definição das Unidades de Amostragem UAs

- Definição das Unidades de Amostragem (UAs) com base em critérios aplicados nos resultados da segmentação homogênea. Os trabalhos foram auxiliados pelo *software* SGD.

Levantamentos Georreferenciados da Rodovia

Levantamentos georreferenciados do traçado da rodovia para obtenção das dos Índices de Geometria Horizontal IGH e Vertical IGV por meio da diretriz em planta e perfil longitudinal. Levantamento e definição das seções de terraplenagem da rodovia.

Base Georreferenciada do Eixo da Rodovia e Seções de Terraplenagem

- Elaboração gráfica do eixo georreferenciado e estaqueado com base nos levantamentos dos marcos quilométricos e da geometria horizontal da rodovia, contendo as seções de terraplenagem.

Índices de Geometria da Rodovia

- Determinação dos Índices de Geometria Horizontal (IGH) e Vertical (IGV) por meio da Base Georrefenciada e levantamento do perfil longitudinal.

Sistema HDM-4 (*Highway Development and Management*)

Aquisição de Licenças do modelo HDM-4 (*Highway Development Management*).

Curso HDM-4, Fase 1 (Nível Básico)

Curso a nível básico do modelo HDM-4 (*Highway Development Management*) dividido em duas etapas: (i) capacitação da equipe técnica responsável pelas análises de previsões de cenários dos pavimentos da Via040 e (ii) capacitação de profissionais da Via040 e da ANTT. A primeira etapa foi realizada no segundo trimestre e a segunda etapa no mês de outubro (26 a 30/10/2015).

Curso HDM-4, Fase 2 (Nível Avançado)

- Curso a nível avançado do modelo HDM-4 (*Highway Development Management*) destinado a calibração dos modelos de previsão de desempenho. Apresentam-se os itens propostos para curso que envolve tópicos avançados e módulo de calibração dos modelos de previsão de desempenho dos pavimentos. O curso foi realizado entre os dias 04 e 07 de abril de 2016.

Programa de Capacitação Técnica (Programa de Estágios)

- Convênio com Universidades próximas a Sede da VIA-040 (bolsas).

- Convênio com Universidades situadas nas margens ou área de influência da rodovia BR-040 (bolsas, alimentações e hospedagens).

- Participação de eventos (máximo de 6 pessoas por evento).

- Elaboração de Manuais Técnicos de Ensaios Laboratoriais e de Campo.

Montagem da Estrutura Física do Laboratório de Ensaios de Pavimentação

- Locação do espaço físico destinado à implantação do Laboratório de Ensaios de Pavimentos e estruturação do espaço (instalações hidráulicas e elétricas e equipamentos de apoio – bancadas, mesas, armários...).

Aquisição dos Equipamentos do Laboratório para Capacitação Técnica

- Processo de compras dos equipamentos previstos para elaboração dos Ensaios de Laboratório de Pavimentação. Montagem dos equipamentos e cursos de treinamento.

Campanhas de Campo 01 e 02

- Retirada de amostras dos pavimentos e ensaios de campo nas Unidades de Amostragem (UAs): viga Benkelman, treliça, pêndulo britânico, mancha de areia e CBR, densidade e permeabilidade *in situ*.

Alimentação SGD e HDM-4

- Realimentação do SGD e alimentação do modelo HDM-4, incluindo análises preliminares de previsões de cenários.

Análises dos Resultados dos Ensaios de Laboratório

- Análises dos resultados dos ensaios de laboratório, com ênfase nas curvas de fadigas e módulos de resiliência dos pavimentos das Unidades de Amostragem (UAs).

Análises do Comportamento Estrutural dos Pavimentos

- Elaboração de análises do comportamento estrutural por meio de interpretação das linhas de influencia deflectométricas (bacias de deflexão) e dos módulos de resiliência obtidos nas retroanálises (compatibilidade de rigidez dos materiais das camadas dos pavimentos).

Realimentação do modelo HDM-4

- O modelo HDM-4 foi realimentado com base nos resultados dos estudos das campanhas de ensaios de campo.

VI – METODOLOGIA

As metodologias empregadas nos trabalhos desenvolvidos durante a pesquisa de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) são apresentadas a seguir. Os resultados são apresentados a seguir, por tópicos.

- Série Histórica
- Banco de Dados e Sistema Gerenciador de Dados (SGD)
- LVC Informatizado Pelo Método da Varredura
- Níveis de Deterioração dos Pavimentos
- Condições de Drenagem e Clima
- Geomorfologia
- Tráfego
- Estrutura dos Pavimentos
- Organização, Estruturação e Armazenamento das Informações no SGD
- Definição da Segmentação Homogênea
- Definição das Unidades de Amostragem UAs
- Base Georreferenciada do Eixo da Rodovia e Seções de Terraplenagem
- Índices de Geometria da Rodovia
- Sistema HDM-4 (*Highway Development and Management*)
- Aquisição dos Equipamentos do Laboratório para Capacitação Técnica
- Programa de Capacitação Técnica (Programa de Estágios)
- Análises dos Resultados dos Ensaios de Laboratório
- Análises do Comportamento Estrutural dos Pavimentos
- Análises de Previsão de Desempenho dos Pavimentos

VI.1 – SÉRIE HISTÓRICA

O desempenho de um pavimento está relacionado às características do seu conjunto de camadas frente às ações do tráfego e clima. O principal agente deflagrador de sua deterioração é o carregamento dinâmico exercido pelo tráfego, que tem seu volume aumentado a cada ano. Esse carregamento mobiliza deformações elásticas e plásticas, que são monitoradas através de campanhas de levantamento de campo. Essas deformações, em determinada fase da vida do pavimento, começam a refletir na superfície do pavimento através de defeitos e irregularidades longitudinais e transversais, reduzindo a serventia do pavimento. A montagem de um Banco de Dados com informações sobre a rodovia busca o máximo conhecimento sobre cada segmento da rodovia no que diz respeito às informações sobre os processos de deterioração do pavimento.

A série histórica é composta por dados das campanhas de monitoração realizadas pelos órgãos Federais Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT) e pela concessionária Via040. Os dados das campanhas de levantamento dos anos de 1997, 1998, 1999, 2001, 2007, 2008, 2011, 2013 e 2014 realizados pelo DNER e DNIT foram gentilmente fornecidos pela Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN) do DNIT. A Via040 contribuiu com os dados de monitorações dos pavimentos realizadas em 2013, 2014 e 2015.

Como a Via040 é constituída por pistas simples e dupla, ocorrendo também trechos com terceira faixa e trecho com 3 pistas para os dois sentidos, foi necessário criar um sistema de codificação para organizar as informações, identificando o sentido e a pista (Figura 6). As pistas do sentido crescente são de número impar e as de número par, sentido decrescente. A faixa interna (primeira em relação ao eixo que divide os dois sentidos de tráfego) é sempre a de menor número e a numeração vai crescendo (impar ou par) em direção ao bordo da rodovia.

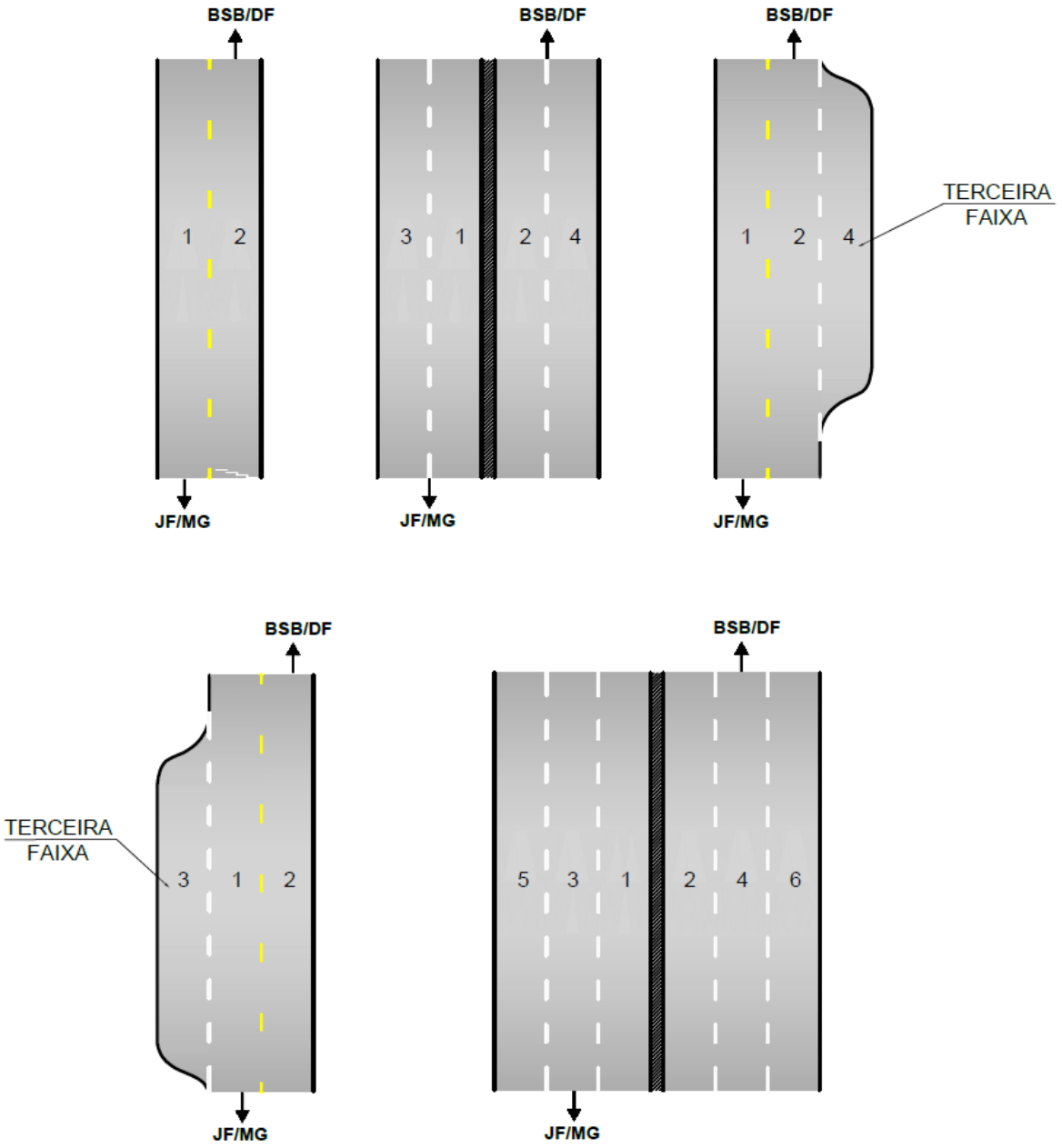


Figura 6 - Esquema de nomenclatura adotada para as pistas de rolamento da Via040.

Em relação às intervenções realizadas nos pavimentos, devido a possíveis incertezas sobre esses dados, optou-se pelo uso do GPR (*ground penatrating radar*) para determinação das espessuras e as características dos materiais constituintes dos pavimentos. O GPR é uma ferramenta não invasiva, de aquisição contínua de dados e de alta velocidade para mapear as condições da subsuperfície do pavimento. O dispositivo geofísico realizou uma avaliação não destrutiva dos pavimentos da Via040. Para calibração dos resultados foram utilizados os dados da campanha de retiradas de amostras dos pavimentos da rodovia. A metodologia e resultados sobre os levantamento com uso de GPR serão apresentados em item específico.

A seguir são apresentados os dados que constam na Série Histórica por ano.

Ano 1997

No ano de 1997 foram realizados levantamentos nos seguintes trechos da BR-040:

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,20.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

Os dados apresentados referem-se às seguintes pistas:

- Distrito Federal - P3 (km 0,00 ao km 8,20) e P4 (km 0,00 ao km 8,20).

- Goiás - P1(km 24,10 ao km 157,30), P3 (km 0,00 ao km 24,10) e P4 (km 0,00 ao km 24,10).

- Minas Gerais - P1(km 0,00 ao km 442,90; km 445,60 ao km 525,00; km 597,20 ao km 773,50), P3 (km 442,90 ao km 445,60; km 525,00 ao km 597,20) e P4 (km 442,90 ao km 445,60; km 525,00 ao km 597,20).

São apresentados os seguintes dados:

- Avaliação Funcional: Levantamento Visual Contínuo (LVC); Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI); Levantamento de Irregularidade Transversal (ATR); e Condição do Acostamento.

- Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

- Identificação do Revestimento do Pavimento e sua espessura.

- Contagem Volumétrica.

Ano 1998

No ano de 1998 foram realizados levantamentos nos seguintes trechos da BR-040:

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,20.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

Os dados apresentados referem-se às seguintes pistas:

- Distrito Federal - P3 (km 0,00 ao km 8,20) e P4 (km 0,00 ao km 8,20).

- Goiás - P1(km 24,10 ao km 157,30), P3 (km 0,00 ao km 24,10) e P4 (km 0,00 ao km 24,10).

- Minas Gerais - P1(km 0,00 ao km 442,90; km 445,60 ao km 525,00; km 597,20 ao km 773,50), P3 (km 442,90 ao km 445,60; km 525,00 ao km 597,20) e P4 (km 442,90 ao km 445,60; km 525,00 ao km 597,20).

São apresentados os seguintes dados:

- Avaliação Funcional: Levantamento Visual Contínuo (LVC); Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI); Levantamento de Irregularidade Transversal (ATR); e Condição do Acostamento.

- Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

- Identificação do Revestimento do Pavimento e sua espessura.

- Contagem Volumétrica.

Ano 1999

No ano de 1999 foram realizados levantamentos nos seguintes trechos da BR-040:

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,20.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

Os dados apresentados referem-se às seguintes pistas:

- Distrito Federal - P3 (km 0,00 ao km 8,20) e P4 (km 0,00 ao km 8,20).

- Goiás - P1(km 24,10 ao km 157,30), P3 (km 0,00 ao km 24,10) e P4 (km 0,00 ao km 24,10).

- Minas Gerais - P1(km 0,00 ao km 442,90; km 445,60 ao km 525,00; km 597,20 ao km 773,50), P3 (km 442,90 ao km 445,60; km 525,00 ao km 597,20) e P4 (km 442,90 ao km 445,60; km 525,00 ao km 597,20).

São apresentados os seguintes dados:

- Avaliação Funcional: Levantamento Visual Contínuo (LVC); Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI); Levantamento de Irregularidade Transversal (ATR); e Condição do Acostamento.

- Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

- Identificação do Revestimento do Pavimento e sua espessura.

- Contagem Volumétrica.

Os dados foram fornecidos em planilhas de eletrônicas, separados por pista. De maneira geral, as informações são apresentadas em segmentos com extensões variáveis. A seguir são listadas as informações contidas na planilha eletrônica:

Ano 2001

No ano de 2001 foram realizados levantamentos nos seguintes trechos da BR-040:

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,20.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 424,00.

Os dados apresentados referem-se às seguintes pistas:

- Distrito Federal - P3 (km 0,00 ao km 8,20) e P4 (km 0,00 ao km 8,20).

- Goiás - P1(km 24,10 ao km 157,30), P3 (km 0,00 ao km 24,10) e P4 (km 0,00 ao km 24,10).

- Minas Gerais - P1(km 0,00 ao km 424,00).

São apresentados os seguintes dados:

- Avaliação Funcional: Levantamento Visual Contínuo (LVC); Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI); Levantamento de Irregularidade Transversal (ATR); e Condição do Acostamento.

- Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

- Identificação do Revestimento do Pavimento e sua espessura.

- Contagem Volumétrica.

Os dados foram fornecidos em planilhas de eletrônicas, separados por pista. De maneira geral, as informações são apresentadas em segmentos com extensões variáveis. A seguir são listadas as informações contidas na planilha eletrônica:

Ano 2007

No ano de 2007 foram realizados levantamentos nos seguintes trechos da BR-040:

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,20.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 156,50.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 755,50.

Os dados apresentados referem-se às seguintes pistas:

- Distrito Federal - P3 (km 0,00 ao km 8,20) e P4 (km 0,00 ao km 8,20).

- Goiás - P1(km 24,10 ao km 156,50), P3 (km 0,00 ao km 24,10) e P4 (km 0,00 ao km 24,10).

- Minas Gerais - P1(km 0,00 ao km 472,10; km 570,90 ao km 755,50), P3 (km 477,10 ao km 564,60) e P4 (km 477,10 ao km 564,60).

São apresentados os seguintes dados:

- Avaliação Funcional: Levantamento Visual Contínuo (LVC); Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI); Levantamento de Irregularidade Transversal (ATR); e Condição do Acostamento.

- Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

- Identificação do Revestimento do Pavimento e sua espessura.

- Contagem Volumétrica.

Ano 2008

No ano de 2008 foram realizados levantamentos nos seguintes trechos da BR-040:

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,40.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 156,50.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

Os dados apresentados referem-se às seguintes pistas:

- Distrito Federal - P3 (km 0,00 ao km 8,40) e P4 (km 0,00 ao km 8,40).

- Goiás - P1(km 24,10 ao km 156,50), P3 (km 0,00 ao km 24,10) e P4 (km 0,00 ao km 24,10).

- Minas Gerais - P1(km 0,00 ao km 472,10; km 570,90 ao km 773,50), P3 (km 477,10 ao km 564,60) e P4 (km 477,10 ao km 564,60).

São apresentados os seguintes dados:

- Avaliação Funcional: Levantamento Visual Contínuo (LVC); Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI); Levantamento de Irregularidade Transversal (ATR); e Condição do Acostamento.

- Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

- Identificação do Revestimento do Pavimento e sua espessura.

- Contagem Volumétrica.

Ano 2011

No ano de 2011 foram realizados levantamentos nos seguintes trechos da BR-040:

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,40.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 156,50.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

Os dados apresentados referem-se às seguintes pistas:

- Distrito Federal - P3 (km 0,00 ao km 8,40) e P4 (km 0,00 ao km 8,40).

- Goiás - P1(km 24,10 ao km 157,30), P3 (km 0,00 ao km 24,10) e P4 (km 0,00 ao km 24,10).

- Minas Gerais - P1(km 0,00 ao km 423,50), P3 (km 423,50 ao km 771,90) e P4 (km 423,50 ao km 771,90).

São apresentados os seguintes dados:

- Avaliação Funcional: Levantamento Visual Contínuo (LVC); Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI); Levantamento de Irregularidade Transversal (ATR); e Condição do Acostamento.

- Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

- Identificação do Revestimento do Pavimento e sua espessura.

- Contagem Volumétrica.

Ano 2013 (DNIT)

No ano de 2013 foram realizados levantamentos nos seguintes trechos da BR-040:

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,40.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 775,00.

Os dados apresentados referem-se às seguintes pistas:

- Distrito Federal - P3 (km 0,00 ao km 8,40) e P4 (km 0,00 ao km 8,40).

- Goiás - P2(km 25,00 ao km 157,30), P3 (km 0,00 ao km 24,50) e P4 (km 0,00 ao km 24,50).

- Minas Gerais - P1(km 0,00 ao km 424,00), P3 (km 424,00 ao km 775,00) e P4 (km 424,00 ao km 775,00).

São apresentados os seguintes dados:

- Avaliação Funcional: Levantamento Visual Contínuo (LVC); Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI); Levantamento de Irregularidade Transversal (ATR); e Condição do Acostamento.

- Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

- Identificação do Revestimento do Pavimento e sua espessura.

- Contagem Volumétrica.

Ano 2013 (Via040)

Avaliação Funcional: LVC, IRI e ATR.

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,40.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

Levantamento Visual Contínuo LVC (Norma DNIT PRO 008/2003)

A frequência de ocorrência de cada tipo de defeito foi apresentada em planilha com segmentos de 1 km de rodovia, bem como, o Índice da Condição do Pavimento Flexível (ICPF), o Índice do Estado da Superfície do Pavimento (IES) e o Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) por pista (P1/P2).

Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI)

O IRI foi levantado em todas as pistas, inclusive faixa adicional e nos sentidos crescente e decrescente. Os resultados do IRI são apresentados a cada 200 metros, em planilhas com os valores de IRI da esquerda, IRI da direita e o valor do IRI médio.

Levantamento de Irregularidade Transversal ou Afundamento de Trilha de Roda (ATR)

O Afundamento de Trilha de Roda (ATR) foi levantado em todas as pistas, inclusive faixa adicional e nos sentidos crescente e decrescente. Os resultados do ATR são apresentados a cada 10 metros, em planilhas com os valores de ATR esquerdo e ATR direito.

Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico.

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,40.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

O levantamento deflectométrico foi realizado com o equipamento FWD (*Falling Weight Deflectometer* – 10^{-2} mm) com espaçamento de 200m. A bacia de deflexão é apresentada com sete pontos (espaçamento de 0; 20; 30; 45; 60; 90 e 120 cm).

Os levantamentos deflectométricos foram realizados nos sentidos de Pista Sul e Norte, sem identificar quais as pistas levantadas. Assim, considerou-se que os resultados referem-se às pistas P1 e P2

Obs: Nos trechos de pista simples foi levantado apenas o sentido crescente.

Ano 2014 (DNIT)

No ano de 2014 foram realizados levantamentos nos seguintes trechos da BR-040:

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,40.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 775,00.

Os dados apresentados referem-se às seguintes pistas:

- Distrito Federal - P3 (km 0,00 ao km 8,40) e P4 (km 0,00 ao km 8,40).

- Goiás - P2(km 25,00 ao km 157,30), P3 (km 0,00 ao km 24,50) e P4 (km 0,00 ao km 24,50).

- Minas Gerais - P1(km 0,00 ao km 424,00), P3 (km 424,00 ao km 775,00) e P4 (km 424,00 ao km 775,00).

São apresentados os seguintes dados:

- Avaliação Funcional: Levantamento Visual Contínuo (LVC); Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI); Levantamento de Irregularidade Transversal (ATR); e Condição do Acostamento.

- Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

- Identificação do Revestimento do Pavimento e sua espessura.

- Contagem Volumétrica.

Ano 2014 (Via040)

Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI)

Os trechos levantados foram os seguintes:

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 24,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

O IRI foi levantado em todas as faixas e sentidos de pista, inclusive faixas adicionais. Os resultados do IRI são apresentados a cada 200 metros, em planilhas com os valores de IRI da esquerda, IRI da direita, IRI médio, QI da esquerda, QI da direita e QI médio.

Condição do Acostamento

Os trechos levantados foram os seguintes:

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,40.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

Os resultados do levantamento são apresentados por km, indicando a condição e o tipo de defeito existente no acostamento.

Identificação das Camadas dos Pavimentos e Aderência das Pistas

A identificação das camadas dos pavimentos foi realizado por meio de janelas de inspeção no seguinte trecho:

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

Ao todo foram realizadas 62 janelas de inspeção identificando as espessuras das camadas e classificando seus materiais. Constam também os resultados de macro e micro texturas realizados através dos ensaios de mancha de areia e pendulo britânico com a classificação através do IFI (*International Friction Index*). Também são apresentados os resultados dos

ensaios laboratoriais para determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR). Em planilha eletrônica constam os resultados dos 62 pontos de inspeção.

Ano 2015 (Via040)

Avaliação Funcional: LVC, IRI e ATR.

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,40.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 771,60.

Levantamento Visual Contínuo LVC (Norma DNIT PRO 008/2003)

As estações inventariadas são espaçadas a cada 20 metros alternados em relação ao eixo da pista de rolamento (40 m em 40 m em cada faixa de tráfego). Foi considerado segmentos de 1 km de extensão para o cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG).

Levantamento de Irregularidade Longitudinal (IRI)

O IRI foi levantado em todas as faixas e sentidos de pista, inclusive faixas adicionais. Os resultados do IRI são apresentados a cada 200 metros, em planilhas com os valores de IRI da esquerda, IRI da direita, IRI médio, QI da esquerda, QI da direita e QI médio.

Levantamento de Irregularidade Transversal ou Afundamento de Trilha de Roda (ATR)

O Afundamento de Trilha de Roda (ATR) foi levantado em todas as pistas, inclusive faixa adicional e nos sentidos crescente e decrescente. Os resultados do ATR são apresentados a cada 40 m para pistas duplas e a cada 20 m para pistas simples, em planilhas eletrônicas com os valores de ATR esquerdo e ATR direito.

Avaliação Estrutural: Levantamento Deflectométrico.

- BR040/DF - Distrito Federal à Divisa DF/GO – km 0,00 ao km 8,40.

- BR040/GO - Divisa DF/GO à Divisa GO/MG – km 0,00 ao km 157,30.

- BR040/MG - Divisa GO/MG à Juiz de Fora/MG – km 0,00 ao km 773,50.

O levantamento deflectométrico foi realizado com o equipamento FWD (*Falling Weight Deflectometer* – 10^{-2} mm) com espaçamento de 100 m nas faixas mais solicitadas pelo tráfego e de 200 m nas faixas de tráfego leve. A bacia de deflexão é apresentada com sete pontos (espaçamento de 0; 20; 30; 45; 60; 90 e 120 cm).

VI.2 - BANCO DE DADOS E SISTEMA GERENCIADOR DE DADOS (SGD)

O Banco de Dados (BD) é o centro de toda a gerência de pavimento, sendo uma ferramenta fundamental, pois está relacionado com todas as atividades da gerência, em particular com o ajuste/calibração de modelos de previsão de desempenho. Um dos pontos mais importantes a considerar no desenvolvimento do BD para gerência é a identificação espacial e temporal dos dados. Portanto, os parâmetros devem ser registrados com sua posição em relação ao marco quilométrico e ao sistema de coordenadas global, incluindo o ano de obtenção da informação. Tal recurso auxilia nas análises espaço-temporais, fundamentais para análises de desempenho dos pavimentos.

Com base nas informações obtidas na pesquisa de informações existentes foram montadas diversas matrizes de dados contendo informações do pavimento separadas por temas ou tópicos (condições funcionais e estruturais, características e propriedades dos materiais, tráfego, índices de geometria...). A localização da informação, normalmente indicada pela sua posição em relação ao marco quilométrico, sentido e faixa de rolamento, são os itens em comum a todas as matrizes. O Sistema Gerenciador de Dados (SGD), a partir dessas informações comuns pode fazer fusões estruturadas e organizadas de matrizes de dados com diferentes temas. Outra função do SGD é permitir a elaboração de pesquisas e filtros, para fins de análises, segmentações e apresentação de resultados. Sendo as informações devidamente datadas será possível observar as alterações dos parâmetros que influenciam no comportamento ou desempenho dos pavimentos ao longo do tempo.

O SGD foi desenvolvido a partir de linguagem Java, possibilitando sua execução em diversos dispositivos e sistemas operacionais distintos, bastando a instalação de uma máquina virtual Java. Não são necessários servidores dedicados para execução, sendo executado através de dispositivos com boa capacidade computacional, sem necessidade de acesso a rede local ou internet. Na Figura 7 apresenta-se o aspecto visual do SGD. Com o uso do SGD pode-se obter os seguintes recursos:

- Executar a fusão de matrizes de dados para montar um arquivo único do tipo BD.

- Realizar cálculos dentro do intervalo de cada segmento da rodovia informado. Assim, um arquivo de banco de dados contendo várias linhas e colunas, poderá ser representado por um número de linhas igual à quantidade de segmentos informados (ou inseridos) no SGD.

- Executar pesquisas e filtros para fins de simulações e combinações de critérios, de forma a facilitar a definição dos Segmentos Homogêneos e das Unidades de Amostragem (UAs) e auxiliar na elaboração de análises, principalmente as espaço-temporais.

Na Figura 8 apresenta-se o fluxograma de uso do SGD. No **Manual do Usuário do SGD** é incluso um Tutorial para aprender trabalhar no sistema, no qual é apresentado o passo a passo

para explorar o máximo de opções do SGD, tendo como referência o fluxograma apresentado na Figura 8.

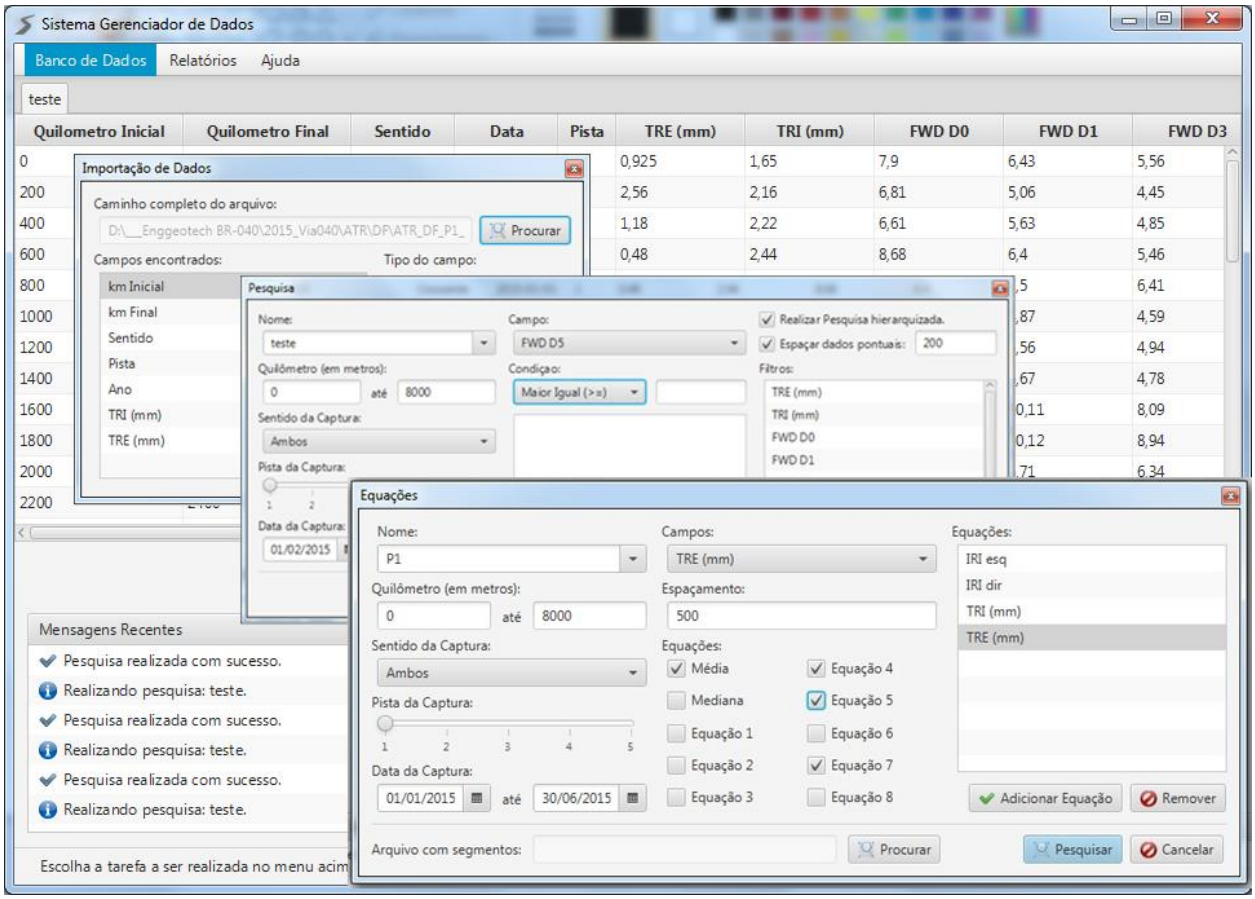


Figura 7 – Telas do Sistema Gerenciador de Dados (SGD).

Os dados da Série Histórica fornecidos pelo DNIT/DPP/CGPLAN se encontram em uma única planilha eletrônica por ano. Os dados das campanhas de levantamentos dos pavimentos da Via040 (2013, 2014 e 2015) foram agrupados através do uso do SGD, sendo apresentados em uma planilha eletrônica em espaçamentos de 250m.

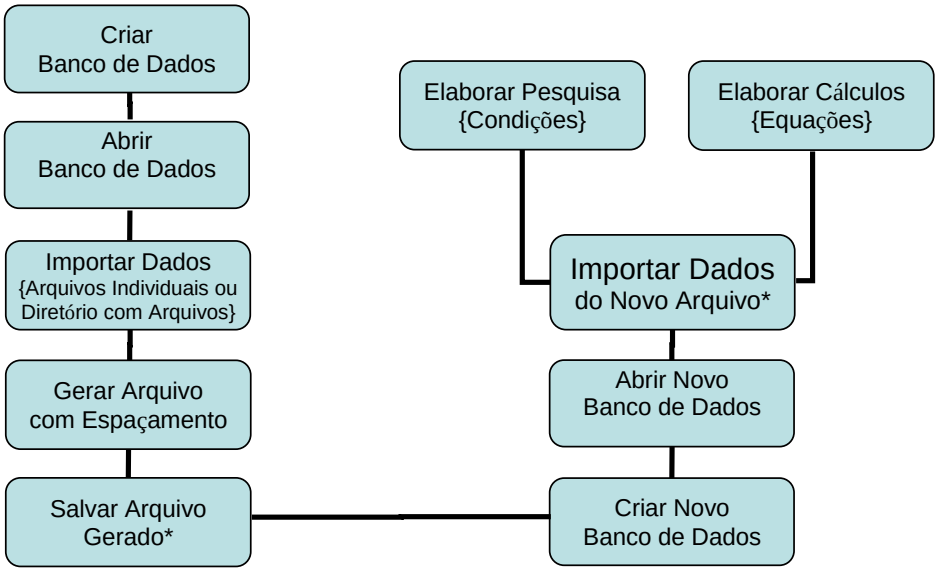


Figura 8 – Fluxograma de uso do Sistema Gerenciador de Dados (SGD).

VI.3 - LVC INFORMATIZADO PELO MÉTODO DA VARREDURA

Com o avanço tecnológico os levantamentos com uso da informática e instrumentação podem agregar maior valor às avaliações funcionais dos pavimentos, pois permitem que os defeitos superficiais de toda área do pavimento possam ser qualificados e quantificados. Através de um Laboratório Móvel composto por instrumentos e um sistema de automação, aquisição e processamento de dados realizou-se o Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) pelo Método da Varredura. A instrumentação, ainda que moderna, consistiu de equipamentos de baixo custo e de fácil montagem, sendo composto por hodômetro digital, GPS de navegação, câmera filmadora digital convencional e computador de uso geral. Como resultado obteve-se uma planilha contendo as quantidades de todos os defeitos previstos na Norma DNIT 005/2003-TER e no HDM-4 a cada 20m expressas em área, extensão e unidade. Também foi entregue o vídeo registro da rodovia com as imagens em sincronia com o hodômetro, plani-altimetria e defeitos levantados (Figura 9). O vídeo registro apresentado através do sistema HoleHunter (Enggeotech, 2003) além de trazer a rodovia para o escritório, facilitando a elaboração de análises e tomadas de decisão, também valida o LVC, pois demonstra a legenda dos defeitos em sincronia com as imagens.

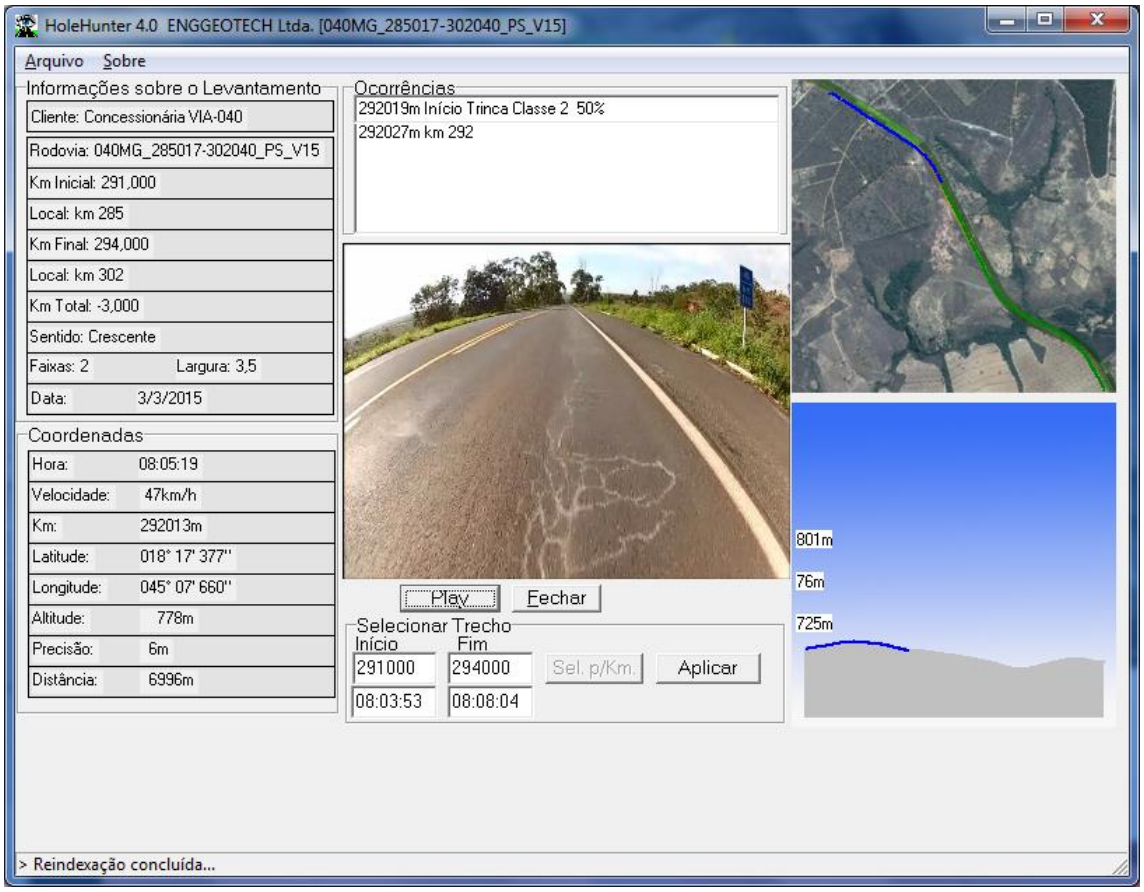


Figura 9 – LVC Informatizado pelo Método da Varredura com uso de vídeo registro com a indicação dos defeitos em sincronia com as imagens (HoleHunter – Enggeotech, 2003).

Comumente os levantamentos dos defeitos são realizados pelas normas do DNIT 006/2003-PRO, 007/2003-PRO e 008/2003-PRO, cujos procedimentos contemplam apenas um percentual da área do pavimento. O LVCI pelo Método da Varredura quantifica todos os defeitos da superfície do pavimento sem necessidade de trabalhar por amostragem, sendo compatível com os dados de entrada no HDM-4. Além disso, as Normas 006/2003-PRO e 008/2003-PRO consideram apenas a ocorrência do defeito dentro da superfície de avaliação, desprezando sua área, extensão ou quantidade. Assim, a modernização do procedimento de LVC aumenta a precisão do inventário de defeitos e abre uma discussão sobre as normas que definem índices do estado do pavimento com base em amostragem e que desconsideram área de abrangência dos defeitos.

VI.3.1 – PROCEDIMENTO DO LVCI PELO MÉTODO DA VARREDURA

Apresentam-se o procedimento de campo, memória e apresentação final do levantamento visual contínuo informatizado (LVCI) pelo método da Varredura.

As referências normativas e bibliográficas são:

- DNIT 005/2003-TER. *Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia*. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes DNIT, Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias IPR.

- ENGGEOTECH (2003/2004). *Gerência de Pavimentos na Região Sul e Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais*. Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais DERMG.

- ENGGEOTECH (2006/2007/2008). *Serviços Técnicos Especializados de Levantamento Visual Contínuo de Defeitos (LVC), Lote B-2, Unidade de Federaçã: GO; DF; BA; SE; AL; PE; PB; RN; CE; PI; MA; PA e TO*. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes DNIT, Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos CGPLAN.

Defeitos de Superfície dos Pavimentos

Foram adotados os seguintes defeitos de superfície: trincas classes 2 e 3; afundamento localizado; afundamento de trilha de roda; ondulação transversal; escorregamento; exsudação; desgaste; panela; remendo; trinca longitudinal; trinca transversal; quebra de bordo e tapa buraco. O defeito denominado *quebra de bordo* não consta nas normas vigentes no país, porém o mesmo faz parte dos dados de entrada do modelo HDM-4. A seguir apresentam-se as codificações, métodos de medição e ilustração fotográfica dos defeitos de superfície. As fotos apresentadas foram registradas em diversas rodovias do Brasil em diferentes datas, sendo todas de autoria do engenheiro Rafael Cerqueira Silva.







Trinca classe 3 TR3 (área de superfície trincada – m^2).







Trinca classe 2 TR2 (área de superfície trincada – m^2).



Afundamento localizado AF LO (número de afundamentos - und).





Afundamento de trilha de roda AF TR (extensão – m).



Ondulação transversal OND (extensão – m).





Escorregamento ESC (extensão – m).



Exsudação EXD (extensão – m).





Desgaste DES (área de superfície desgastada – m^2).







Panela PA (número de panelas pequena PA P, média PA M e grande PA G - und). A quantidade de panelas pode ser transformada área (m^2), sabendo-se que a panela média corresponde a 30x30x10cm (padrão HDM-4).







Remendo REM (área de superfície remendada – m^2).



Quebra de Bordo Q BOR (área de superfície com quebra de bordo – m^2).



Trinca longitudinal TL (extensão - m).



Trinca transversal TT (unidade - und).







Tapa buracos T BUR ou remendos provisórios pontuais (número de tapa buracos - und).

Método de Levantamento

Para aplicação da metodologia de Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) pelo Método da Varredura é necessário o uso de um Sistema de Automação, Aquisição e Processamento de Dados (SAPD) instalado em um Laboratório Móvel (LM) para garantir que todos os defeitos que se manifestam na superfície do pavimento possam ser qualificados e quantificados, de forma a aprimorar as avaliações funcionais. Na Figura 10 apresentam-se o Laboratório Móvel e o *software* utilizados para realização do levantamento.



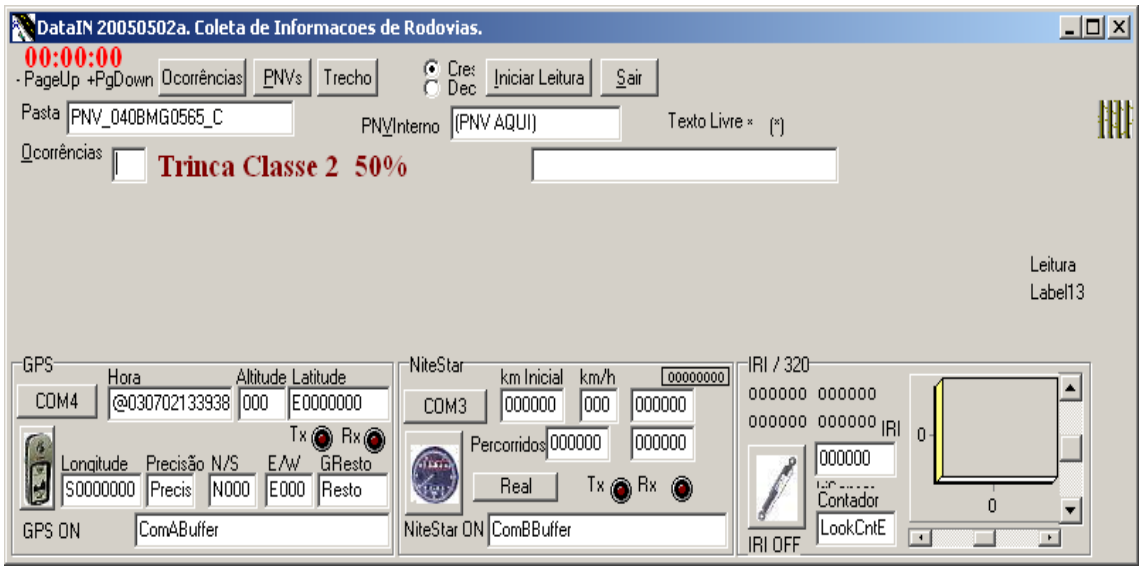


Figura 10 – Laboratório Móvel instrumentado e sinalizado e *software* (DataIN – Enggeotech, 2003) para integração e sincronização dos instrumentos utilizados para realização do levantamento.

O LVCI é realizado com auxílio de um Laboratório Móvel (LM) equipado com computador de bordo, Global Position System (GPS), câmera digital, teclado padronizado com os tipos de defeitos preconizados e hodômetro digital de alta precisão (erro máximo admissível de 1 m/km). Os instrumentos são interligados e monitorados por um sistema operacional (SAPD) que permite a aplicação da metodologia de levantamento, cujo objetivo é obter a "radiografia" de toda a superfície do pavimento, em que os defeitos serão materializados (posição em relação ao km da rodovia e ao sistema de coordenadas global), qualificados e quantificados com unidades representativas (área, extensão e quantidade).

Todos os equipamentos são conectados, arquivados e processados no computador base através do *software* DataIN (Enggeotech, 2003), em tempo real, para posterior visualização da imagem digital, dos defeitos de superfície digitados em campo (com o registro da localização de acordo com os marcos quilométricos e suas coordenadas geográficas), do traçado em planta e perfil longitudinal da rodovia, todos em sincronia. O sistema HoleHunter também é responsável pela elaboração dos relatórios da incidência de cada defeito no espaçamento desejado.

Condições do tempo

O levantamento não é realizado em dias chuvosos, com muita neblina, ou com pouca luz natural (início ou final do dia).

Equipe

São necessárias duas equipes para realização LVCI e preparação/elaboração dos resultados do levantamento: equipe de campo e outra de escritório. A equipe de campo é constituída de um engenheiro civil e motorista. A equipe técnica de escritório é constituída de um engenheiro, um técnico e um acadêmico de engenharia civil. As equipes são coordenadas por um engenheiro civil, responsável técnico dos trabalhos.

Operação do veículo

O veículo é operado a uma velocidade média aproximada de 40 km/h, percorrendo a rodovia em sentido crescente e decrescente, sendo levantadas todas as faixas de rolamento (P1/P3 e P2/P4). No caso do trecho com 3 faixas de rolamento por sentido foram levantadas apenas duas faixas.

Apresentação dos Resultados

Os resultados da avaliação do estado da superfície dos pavimentos são apresentados de forma contínua em segmentos com 20 m de extensão em uma planilha eletrônica, em que cada linha corresponde a um segmento de 20 m. As colunas da planilha eletrônica indicam os dados da rodovia e os parâmetros levantados com suas quantidades.

VI.4 – NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO DOS PAVIMENTOS

Os pavimentos não são concebidos para durarem eternamente, mas apenas para um determinado período. Durante cada um destes períodos ou ciclos de vida, o pavimento inicia numa condição ótima até alcançar uma condição ruim (Figura 11). O entendimento dos mecanismos que regem o processo de deterioração de um pavimento é condição essencial para a identificação das causas que o levam à sua condição atual, bem como para a escolha e programação da técnica mais adequada para sua reabilitação.

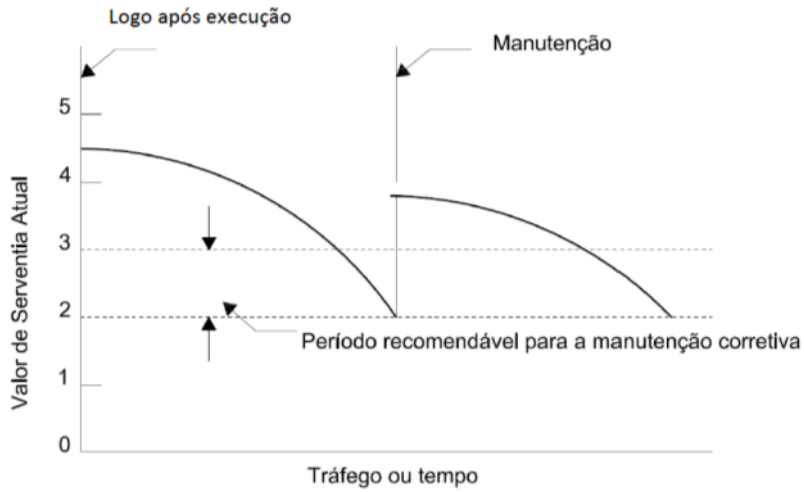


Figura 11 - Período recomendável para a manutenção dos pavimentos (IPR-745, 2011)

Os materiais de construção, no decorrer de sua vida de serviço, apresentam processos de danificação e deterioração (degradação) inevitáveis que, paulatinamente, implicam a alteração de suas propriedades mecânicas, ou seja, aquelas que governam seu comportamento sob ações de cargas de diversas naturezas (Balbo, 2007) Portanto, as propriedades dos materiais alteram-se após a construção, piorando pouco a pouco. Dano, deterioração, degradação são nomes possíveis para descrever o processo de perda de qualidade estrutural e/ou funcional dos pavimentos.

Conforme estabelecido pelos métodos mecanístico-empíricos de dimensionamento e previsão de desempenho do pavimento, destacam-se dois parâmetros levantados pelo LVC, que definem o critério de ruptura do pavimento. São: o trincamento, medido por tipo de trinca e em área e a ocorrência de afundamentos de trilhas de roda (ATR). O trincamento está relacionado com as deformações elásticas, medidas pela Viga Benkelman (VB) e pelo *Falling Weight Deflectometer* (FWD). O ATR é oriundo das deformações plásticas ou permanentes que se manifestam no pavimento pela ação do tráfego, cuja medida também é um critério de definição de vida útil estrutural e funcional de um pavimento, visto que, a partir de certo valor, pode interferir na condição de conforto e segurança do tráfego. O trincamento e ATR também são avaliados em

ensaios de laboratório realizados em amostras de solo e mistura asfáltica submetidas a carregamentos que tentam simular a ação do tráfego. Pretende-se com a realização desses ensaios prever o comportamento do pavimento em campo.

Sendo o trincamento um critério de ruptura do pavimento relacionado às condições funcional e estrutural dos pavimentos, buscou-se caracterizar o nível de deterioração dos pavimentos através do processo de formação de trincas. A cada deformação aplicada, de forma cíclica, passo a passo, vai causando um acúmulo de incontáveis zonas de plastificação que, apesar de microscópicas e não mensuráveis unitariamente, ao longo do processo de uso da estrutura de pavimento, acabam definindo planos de fratura e descontinuidades, prejudicando bastante as respostas estruturais inicialmente apresentadas (Balbo, 2007). Conforme Hveem (1955), o trincamento progressivo dos revestimentos asfálticos se deve à deformação resiliente (elástica) das camadas subjacentes, em especial o subleito. O termo resiliência significa energia armazenada num corpo deformado elasticamente, a qual é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações – corresponde à energia potencial de deformação (Medina e Motta, 2005).

Kikukawa e Anzaki (1987) apresentam uma metodologia para estabelecer um Índice de Controle de Manutenção (MCI) a partir do percentual de área trincada (TR), afundamentos em trilha de roda (ATR) e Irregularidade longitudinal (IRI). O índice MCI é utilizado com o propósito de auxiliar no processo de decisão relativo à existência ou não da necessidade de manutenção do pavimento avaliado (Tabela 1). O MCI é obtido através da seguinte fórmula:

$$MCI = 10 - 1{,}48.TR^{0,3} - 0{,}29.ATR^{0,7} - 0{,}47.IRI^{0,2}$$

Onde:

TR = % de área trincada;

ATR = afundamento em trilha de roda (mm);

IRI = irregularidade longitudinal (mm)

Tabela 1 - Avaliação das Condições do Pavimento pelo Índice de Controle de Manutenção (MCI).

MCI	Estratégia de Manutenção
MCI > 5.0	Nenhuma
4.0 < MCI < 5.0	Conservação
3.0 < MCI < 4.0	Restauração Leve
MCI < 3.0	Restauração Pesada

Segundo Gonçalves (1999), o levantamento de defeitos de superfície é direcionado para se

avaliar as medidas de conservação necessárias para se evitar uma deterioração acelerada no futuro, ou para se determinar as medidas de restauração requeridas para se melhorar o pavimento. Este levantamento não tem por objetivo representar a resposta do usuário, embora esteja a ela relacionado, na medida em que os defeitos de superfície são a causa da perda de serventia atual e futura. A aplicação mais imediata de uma avaliação de defeitos de superfície ocorre dentro de projetos de restauração de pavimentos deteriorados.

No Brasil, de modo geral, o estado de superfície dos pavimentos flexíveis é avaliado em termos do Índice de Gravidade Global (IGG). Sendo, para sua determinação, realizadas medidas de afundamentos em trilhas de roda e levantamentos visuais da superfície do pavimento, efetuados com o propósito de se identificar os defeitos existentes na superfície do pavimento dentro de uma estação de amostragem com 6m de extensão a cada 40 m. O conceito do pavimento avaliado é atribuído de acordo com os limites mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG (DNIT 006/2003-PRO).

Conceitos	Limites
Ótimo	0 < IGG ≤ 20
Bom	20 < IGG ≤ 40
Regular	40 < IGG ≤ 80
Ruim	80 < IGG ≤ 160
Péssimo	IGG > 160

Como o trincamento é um critério de ruptura do pavimento que reflete tanto a condição funcional, quanto estrutural, a metodologia adotada para identificação dos níveis de deterioração dos pavimentos foi baseada na análise ponderada das áreas de trincas classe 2 e 3 (Figura 12). Devido à diferença marcante do grau de trincamento nos pavimentos, na análise foram estipulados pesos para cada tipo de trinca. Às trincas classe 2 (TR2) deu-se um peso de 37,5% e às trincas classe 3 (TR3) um peso de 62,5%, totalizando 100%. Com base nas áreas de trincas fornecidas pelo Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) pelo Método da Varredura e uso do SGD determinaram-se os trincamentos para cada classe de trinca a cada 250 m, sendo expressos em percentual (%). Estabeleceram-se limites para os trincamentos de cada classe de trinca (Tabelas 3 e 4). A esses limites foram definidas notas para aplicar na análise ponderada da determinação dos níveis de deterioração dos pavimentos da Via040. Conforme resultado das análises (TR_{pond}) tem-se o conceito do nível de deterioração com base nos limites apresentados na Tabela 5.



Figura 12 – Trincas classe 2 e 3.

Tabela 3 – Limites das trincas classe 2 (TR2) e notas.

Trinca Classe 2 TR2 (peso 37,5%)	
Limites	**Nota**
TR2 < 5%	0
5% ≤ TR2 ≤ 10%	2,5
10% ≤ TR2 ≤ 30%	5
30% ≤ TR2 ≤ 60%	7,5
TR2 > 60%	10

Tabela 4 – Limites das trincas classe 2 (TR3) e notas.

Trinca Classe 3 TR 3 (peso 62,5%)	
Limites	**Nota**
TR3 = 0%	0
0% ≤ TR3 ≤ 2,5%	2,5
2,5% ≤ TR3 ≤ 15%	5
15% ≤ TR3 ≤ 30%	7,5
TR3 > 30%	10

Tabela 5 – Limites das análises ponderadas das trincas e conceitos.

Limites	**Conceito**
$TR_{pond} < 1$	Ótimo
$1 \leq TR_{pond} < 2,5$	Bom
$2,5 \leq TR_{pond} < 5$	Regular
$5 \leq TR_{pond} \leq 7,5$	Ruim
$TR_{pond} > 7,5$	Péssimo

Apresentação dos Níveis de Degradação sobre Eixo Georreferenciado da Via040

Os resultados das análises de deterioração dos pavimentos são apresentados em planilhas eletrônicas e sobre o eixo georreferenciado e estaqueado da Via040, conforme apresentado na Figura 13. A base espacial dos níveis de deterioração dos pavimentos encontra-se em arquivo com extensão (.kmz ou .kml) para que possa ser visualizada sobre as imagens aéreas do programa Google Earth. Com a base espacial aberta no Google Earth é possível navegar na Via040 visualizando os níveis de deterioração e os marcos quilométricos da rodovia.

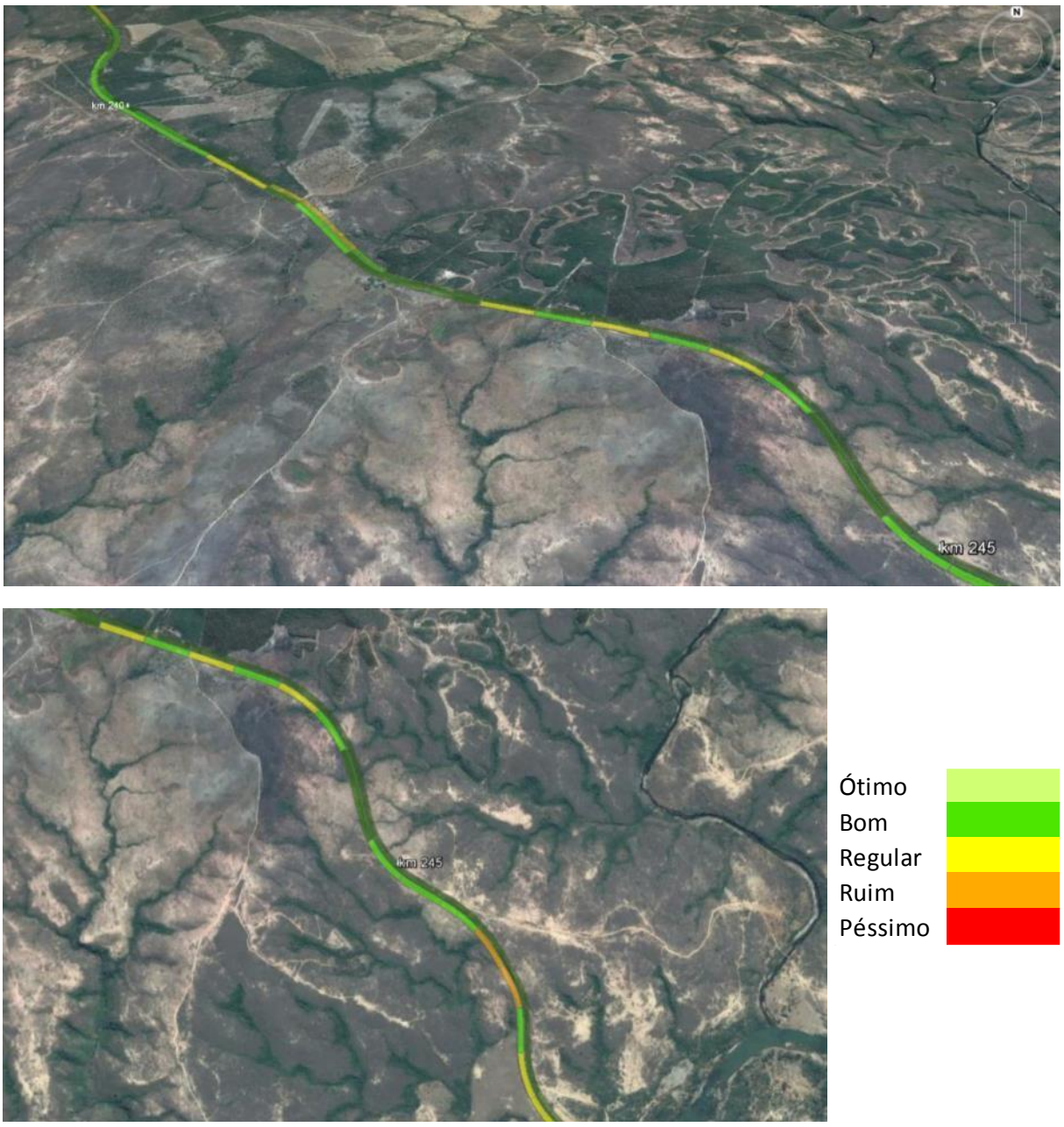


Figura 13 – Base espacial das análises de deterioração dos pavimentos sobre imagens aéreas do programa Google Earth.

Resumo dos Resultados

Nas Figuras 14 a 22 são apresentados o resumo dos resultados dos níveis de deterioração dos pavimentos da Via040 com base em análise considerando as áreas de trincas classe 2 e classe 3 para o Distrito Federal e Unidades de Federação Goiás e Minas Gerais.

Distrito Federal

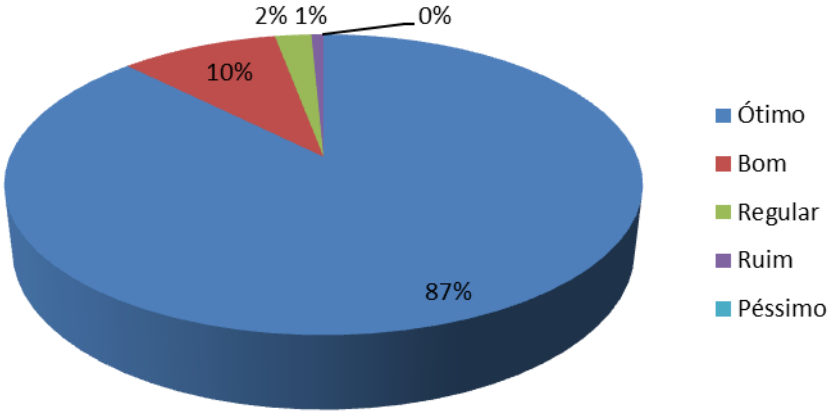


Figura 14 – Níveis de deterioração dos pavimentos do Distrito Federal.

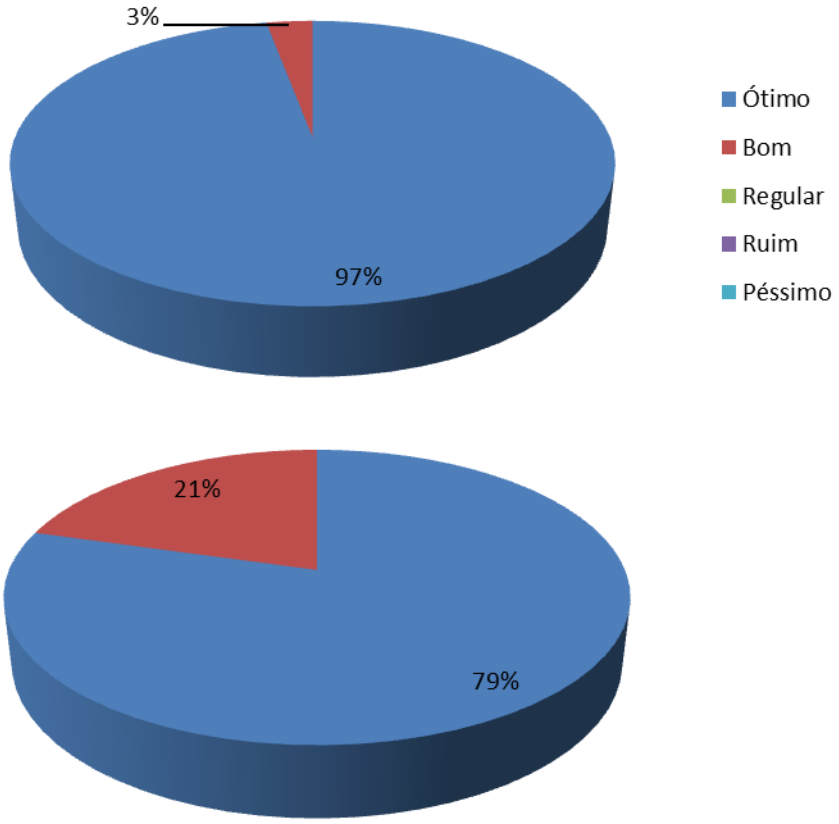


Figura 15 – Níveis de deterioração dos pavimentos do Distrito Federal, Pistas 1 e 3 (sentido crescente).

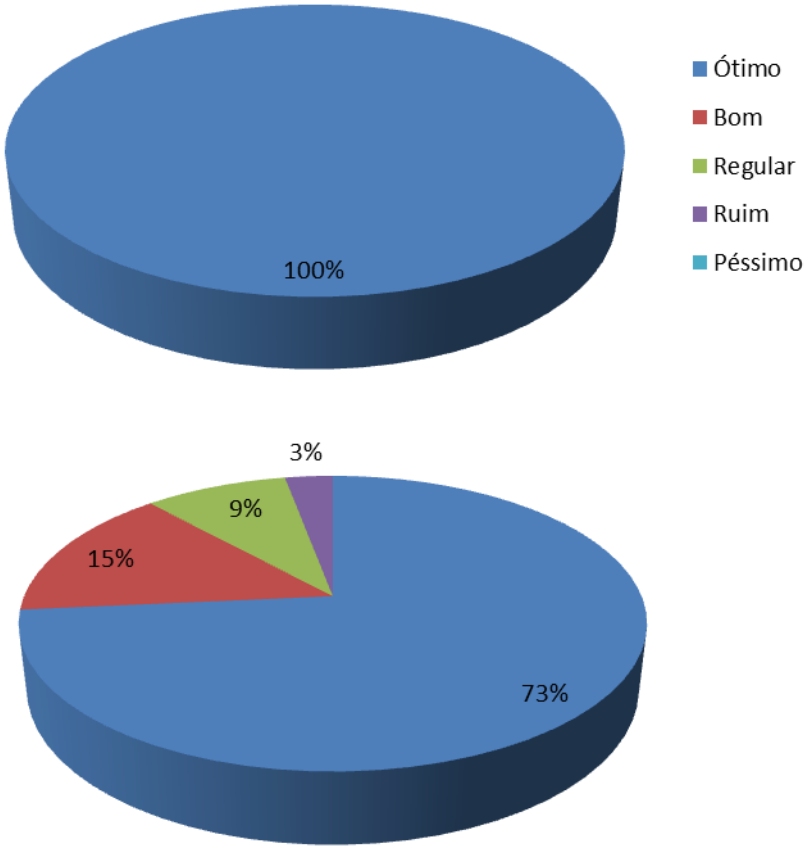


Figura 16 – Níveis de deterioração dos pavimentos do Distrito Federal, Pistas 2 e 4 (sentido decrescente).

Estado do Goiás

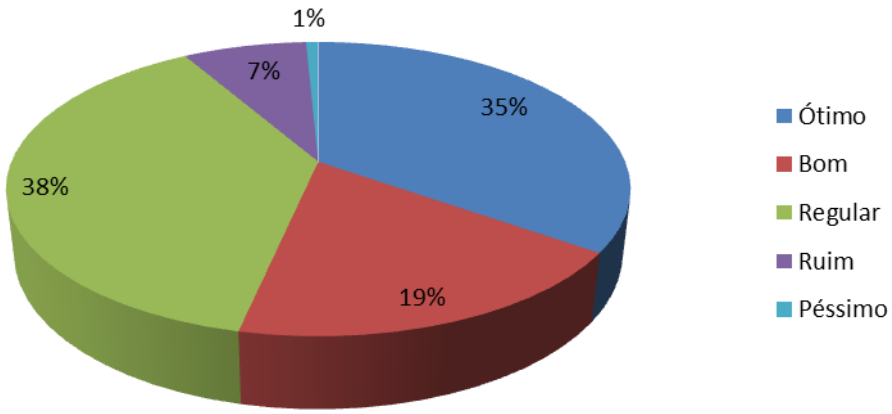


Figura 17 – Níveis de deterioração dos pavimentos do Estado do Goiás.

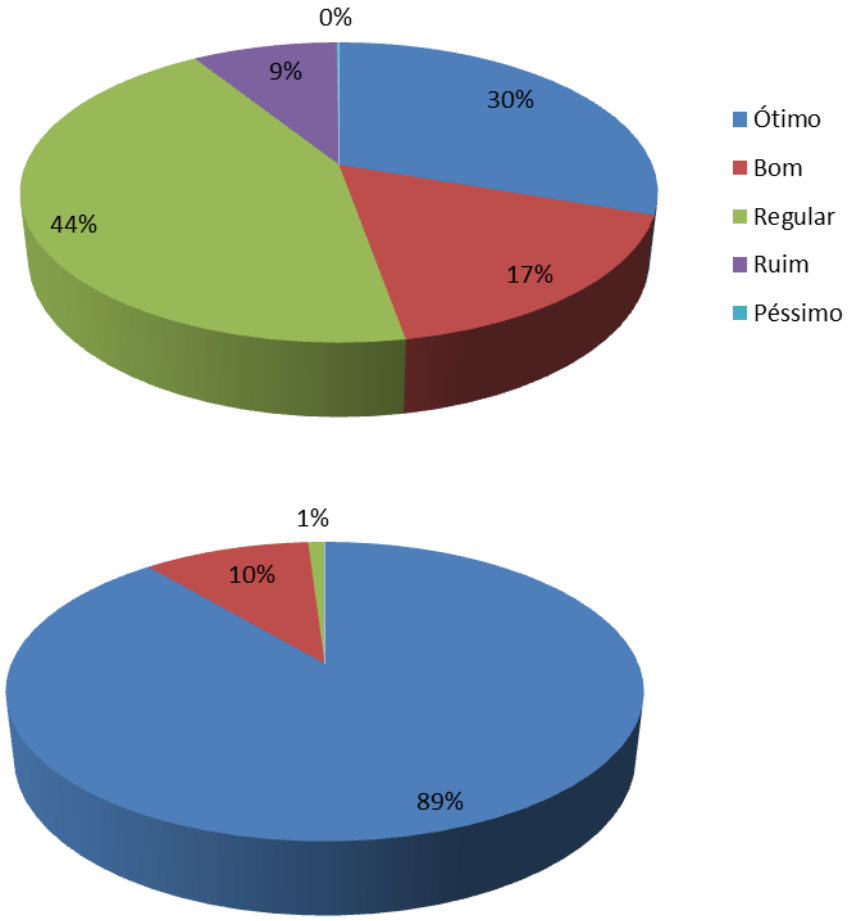


Figura 18 – Níveis de deterioração dos pavimentos do Estado do Goiás, Pistas 1 e 3 (sentido crescente).

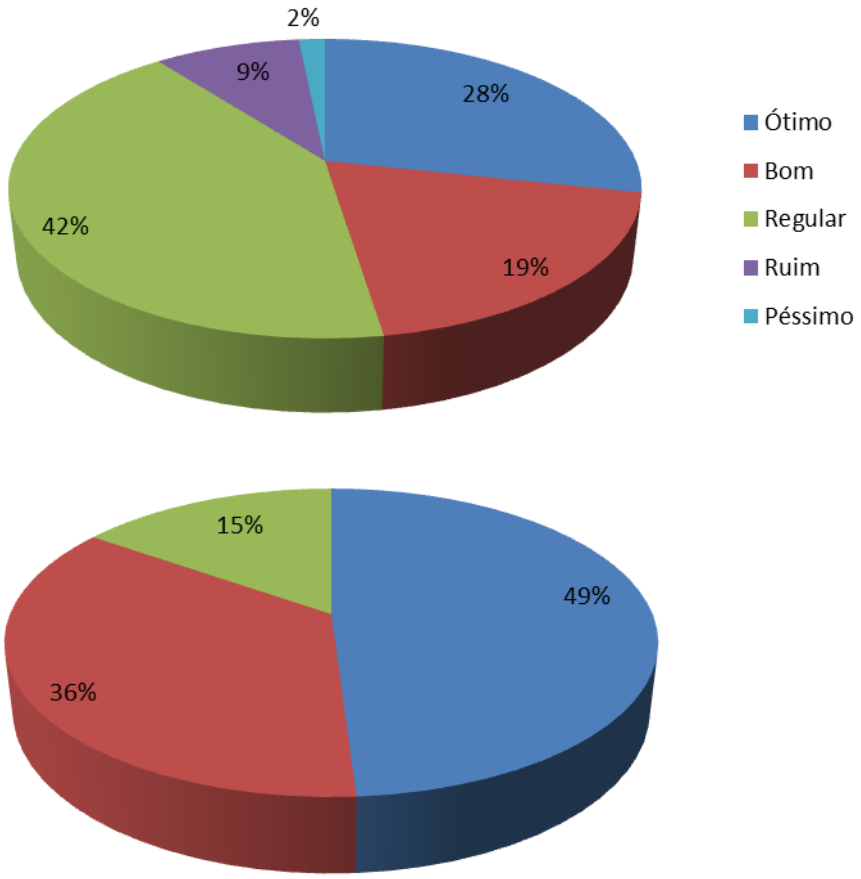


Figura 19 – Níveis de deterioração dos pavimentos do Estado do Goiás, Pistas 2 e 4 (sentido decrescente).

Estado de Minas Gerais

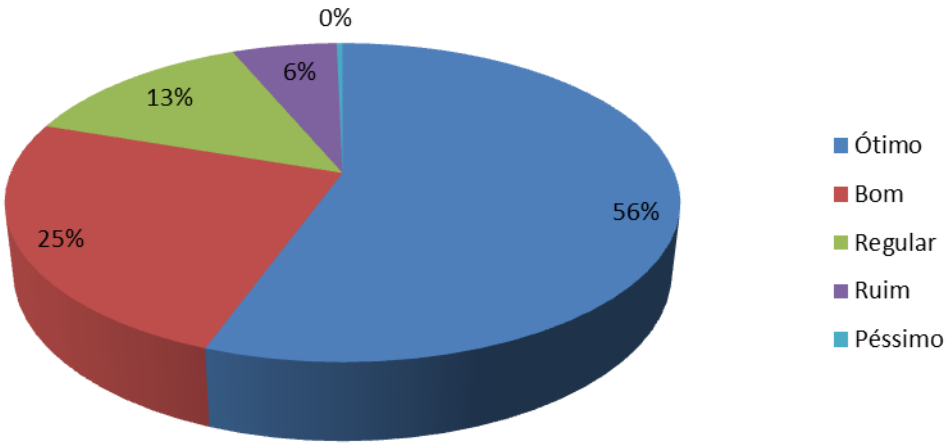


Figura 20 – Níveis de deterioração dos pavimentos do Estado de Minas Gerais.

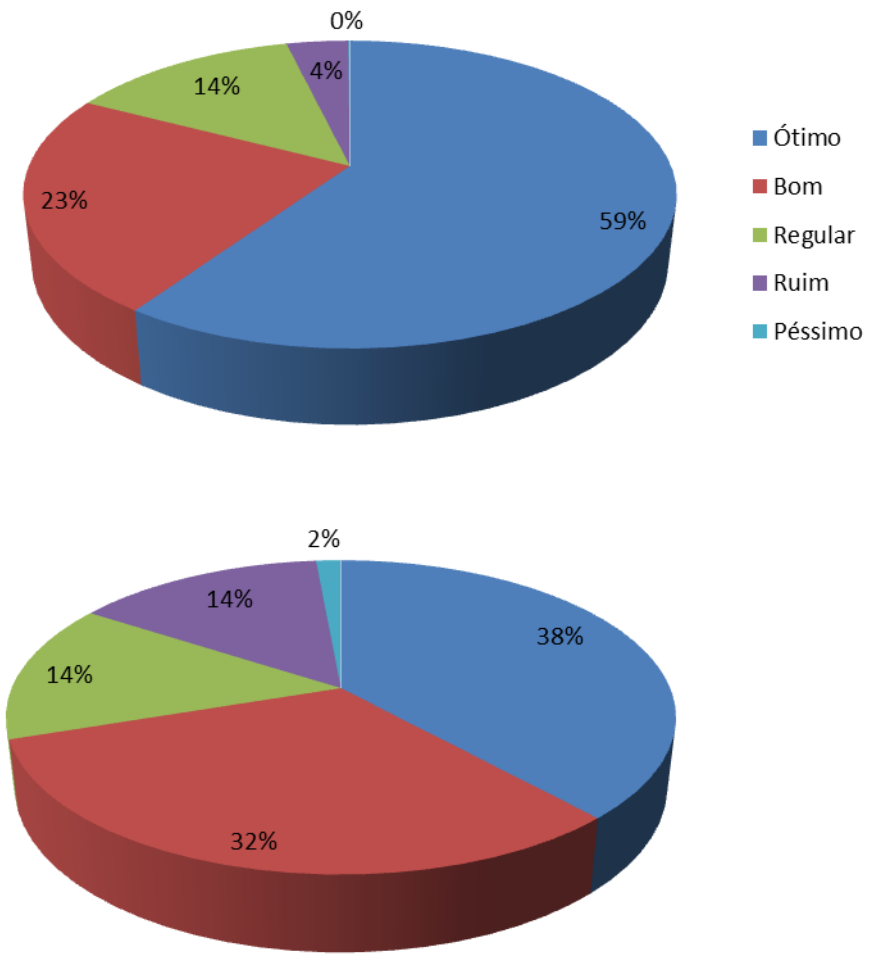


Figura 21 – Níveis de deterioração dos pavimentos do Estado de Minas Gerais, Pistas 1 e 3 (sentido crescente).

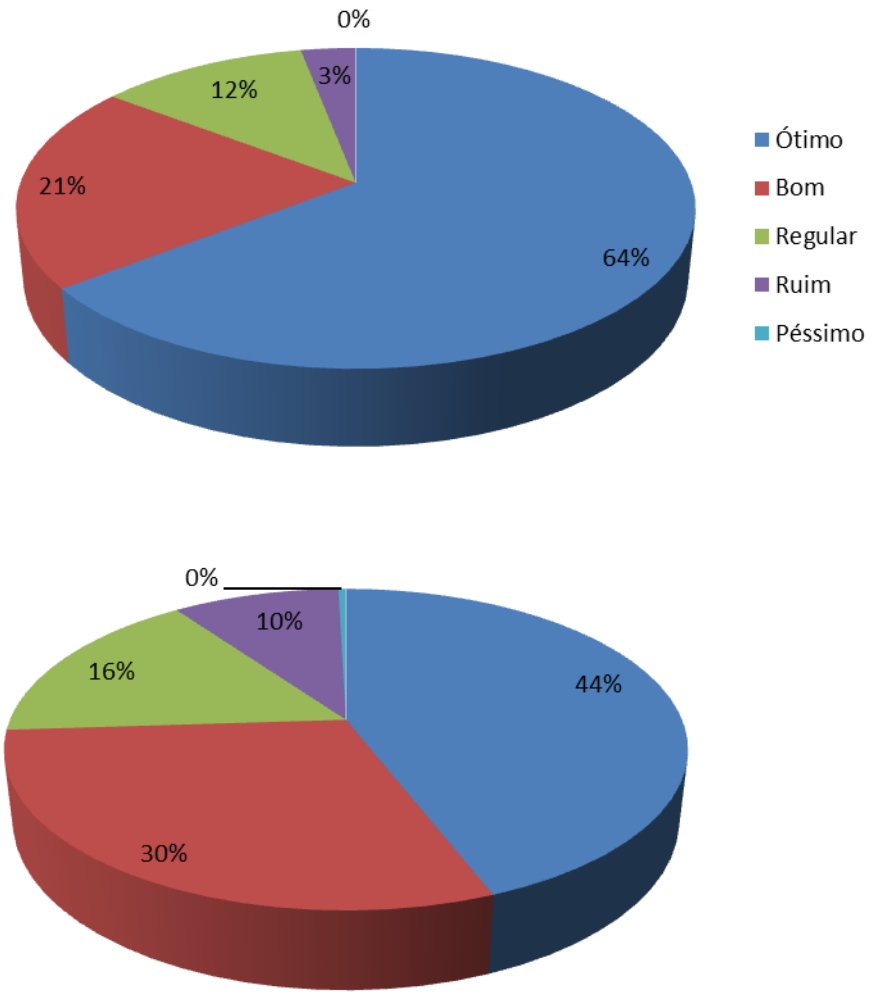


Figura 22 – Níveis de deterioração dos pavimentos do Estado de Minas Gerais, Pistas 2 e 4 (sentido decrescente).

VI.5 - CONDIÇÕES DE DRENAGEM E CLIMA

A infiltração de água no pavimento exerce influência na sua serventia e em condições que estão ocultas sob a superfície, e que não necessariamente aparecem instantaneamente. Quando a água sub-superficial penetra na estrutura do pavimento, o sistema de camadas age de modo semelhante às bombas de diafragma, sob o martelamento das rodas pesadas (Cedergren, 1980). Cada impacto por carga pesada faz com que a água se mova pela interface entre o revestimento e sua base, erodindo o material e ejetando-o através de trincas, produzindo canais e cavidades que minam o pavimento, resultando em desnivelamento e outros danos, que eventualmente conduzirão à total falência do pavimento. Se a base do pavimento encontrar-se confinada por camadas de baixa permeabilidade a mesma ficará inundada e sujeita a ações danosas de poro pressões pulsantes, agravadas pelo efeito da sobrecarga do tráfego, desencadeando o trincamento

do pavimento.

Com base nesses conhecimentos foram realizados levantamentos das condições de drenagem dos pavimentos em dias com e sem presença de chuva com auxílio do Laboratório Móvel e do sistema HoleHunter. Nos dias secos o indicativo de uma drenagem ineficiente pode ser observado nos trechos em corte, principalmente com seção plena, ou pontos baixos do greide, em aterro ou corte, que apresentem trincamento excessivo sem que isso seja uma característica típica do trecho. Nos dias de chuva, normalmente, a deficiência de drenagem de alguns desses trechos são confirmados pelo bombeamento de água com presença de finos de cor esbranquiçada aflorando na superfície do pavimento (Figura 23).



Figura 23 – Pavimento com problema de drenagem.

De maneira geral, os pavimentos da Via040 apresentam uma boa drenagem, havendo poucos pontos com drenagem deficiente. Nesses pontos de condição ruim a regular, qualquer intervenção no pavimento sem a execução de um dispositivo de drenagem sub-superficial, que permita drenar a água da base, resultará em insucessos.

As Regiões Climáticas das áreas interceptadas pela Via040 foram consideradas no processo de segmentação dos trechos para fins de análises. Para tanto, foi realizado o mapeamento climático da rodovia a partir de dados de pluviometria e temperaturas médias do ar, dividindo-se em sub-regiões, identificando os trechos de rodovia pertencentes a cada uma (Tabelas 6 e 7).

A Figura 24 apresenta o eixo da Via040 sobre o mapa de clima do Brasil (IBGE, 2002), com indicação dos quilômetros das divisas de zonas climáticas. Na Tabela 8 são apresentados os segmentos da rodovia contidos em cada zona climática. A Via040 intercepta 14 zonas climáticas, quantidade praticamente igual à das UAs prevista no projeto.

Tabela 6 – Precipitação ao longo da extensão da Via040.

Localidade	Precipitação (mm)												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
Juiz de Fora/MG	300	217	198	107	65	34	27	16	50	112	191	327	1644
Barbacena/MG	264	187	142	67	39	24	21	23	64	124	220	262	1437
Belo Horizonte/MG	296	188	163	61	28	14	16	14	40	123	228	319	1490
Sete Lagoas/MG	289	161	133	53	26	10	14	10	33	116	217	266	1328
Três Marias/MG	104	72	116	1	42	1	0	23	5	22	73	188	647
João Pinheiro/MG	272	193	159	68	21	5	10	7	34	159	231	280	1439
Paracatu/MG	260	179	149	67	29	7	15	16	36	133	224	324	1439
Cristalina/GO	243	211	227	101	31	5	7	16	46	129	232	275	1522
Luziânia/GO	251	198	203	81	36	11	8	15	56	110	213	310	1492
Brasília/DF	241	215	189	124	39	9	12	13	52	172	238	249	1553

Tabela 7 – Temperatura do ar ao longo da extensão da Via040.

Localidade	Temperatura do Ar (°C)												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
Juiz de Fora/MG	22,3	22,5	21,1	19,8	18,2	17,1	16,4	17,5	17,3	18,5	19,6	20,9	19,27
Barbacena/MG	20,3	20,6	20	18,3	16,4	15,2	14,7	16	17,1	18,3	19	19,5	17,95
Belo Horizonte/MG	22,8	23,2	23	21,1	19,8	18,5	18,1	19	21	21,9	22,2	22,2	21,07
Sete Lagoas/MG	22,9	23	22,8	21,2	19,3	17,9	17,5	19,3	20,9	22,1	22,1	22,3	20,94
Três Marias/MG	31,28	33,06	30,89	31,32	28,29	27,38	28,37	28,38	30,33	30,40	30,53	30,06	30,02
João Pinheiro/MG	23,1	23,6	23,4	22,7	22	20,3	19,9	21,8	23,2	23,8	23,6	22,8	22,52
Paracatu/MG	23,7	24	24	23,2	21,2	19,4	19,2	21,4	23,5	24,2	23,7	23,2	22,56
Cristalina/GO	18,80	18,60	18,00	16,80	14,70	12,80	12,20	14,00	16,40	18,40	18,40	18,90	16,50
Luziânia/GO	24,35	24,55	24,55	23,25	20,85	20,35	20,7	22,4	23,7	24,65	24,2	24,35	23,16
Brasília/DF	21,6	21,8	22	21,4	20,2	19,1	19,1	21,1	22,5	22,1	21,7	21,5	21,18



Legenda:

Quente (média > 18° C em todos os meses do ano)	Mesotérmico brando (média entre 10° e 15° C)	Subquente (média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
Superúmido sem seca	Superúmido sem seca	Superúmido sem seca
Superúmido com subseca	Superúmido com subseca	Superúmido com subseca
Úmido com 1 a 2 meses secos	Úmido com 1 a 2 meses secos	Úmido com 1 a 2 meses secos
Úmido com 3 meses secos	Úmido com 3 meses secos	Úmido com 3 meses secos
Semiúmido com 4 a 5 meses secos	Semiúmido com 4 a 5 meses secos	Semiúmido com 4 a 5 meses secos

Figura 24 – Zonas climáticas (IBGE, 2002) ao longo do eixo da Via040, com indicação dos quilômetros limítrofes.

Tabela 8 – Relação das zonas climáticas interceptadas pela Via040.

Segmento	Clima	km Inicial	km Final	UF
1	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)	0	8,4	DF
2	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)	0	15	GO
3	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Quente - média > 18° C em todos os meses do ano)	15	85	GO
4	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)	85	130	GO
5	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Quente - média > 18° C em todos os meses do ano)	130	157,4	GO
6	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)	0	19	MG
7	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Quente - média > 18° C em todos os meses do ano)	19	185	MG
8	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)	185	198	MG
9	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Quente - média > 18° C em todos os meses do ano)	198	214	MG
10	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)	214	229	MG
11	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Quente - média > 18° C em todos os meses do ano)	229	438	MG
12	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)	438	535	MG
13	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Mesotérmico brando - média entre 10° e 15° C)	535	700	MG
14	Úmido com 1 a 2 meses secos (Mesotérmico brando - média entre 10° e 15° C)	700	773	MG

VI.6 - GEOMORFOLOGIA

Para um país com características topográficas e geológicas bastantes diversificadas como o Brasil para definição dos SHs e UAs deve-se levar em consideração os compartimentos geomorfológicos por uma rodovia. A Figura 25 apresenta as características geomorfológicas da Via040, representadas através de unidades de relevo, como planaltos, serras e depressões. Na Tabela 9 são apresentados os segmentos da rodovia contidos em cada unidade de relevo. São assinaladas também os limites entre as unidades de relevo indicados pelos quilômetros. Note que

a Via040 intercepta uma quantidade de compartimentos geomorfológicos praticamente igual ao das UAs prevista no projeto, doze unidades. Isso é importante para que os ensaios e análises realizados nas UAs possam ser aproveitados por outras rodovias contidas no mesmo compartimento, com características de tráfego e condições funcional e estrutural similares. Para facilitar as consultas, as UAs, quando definidas, serão locadas no mapa geomorfológico.

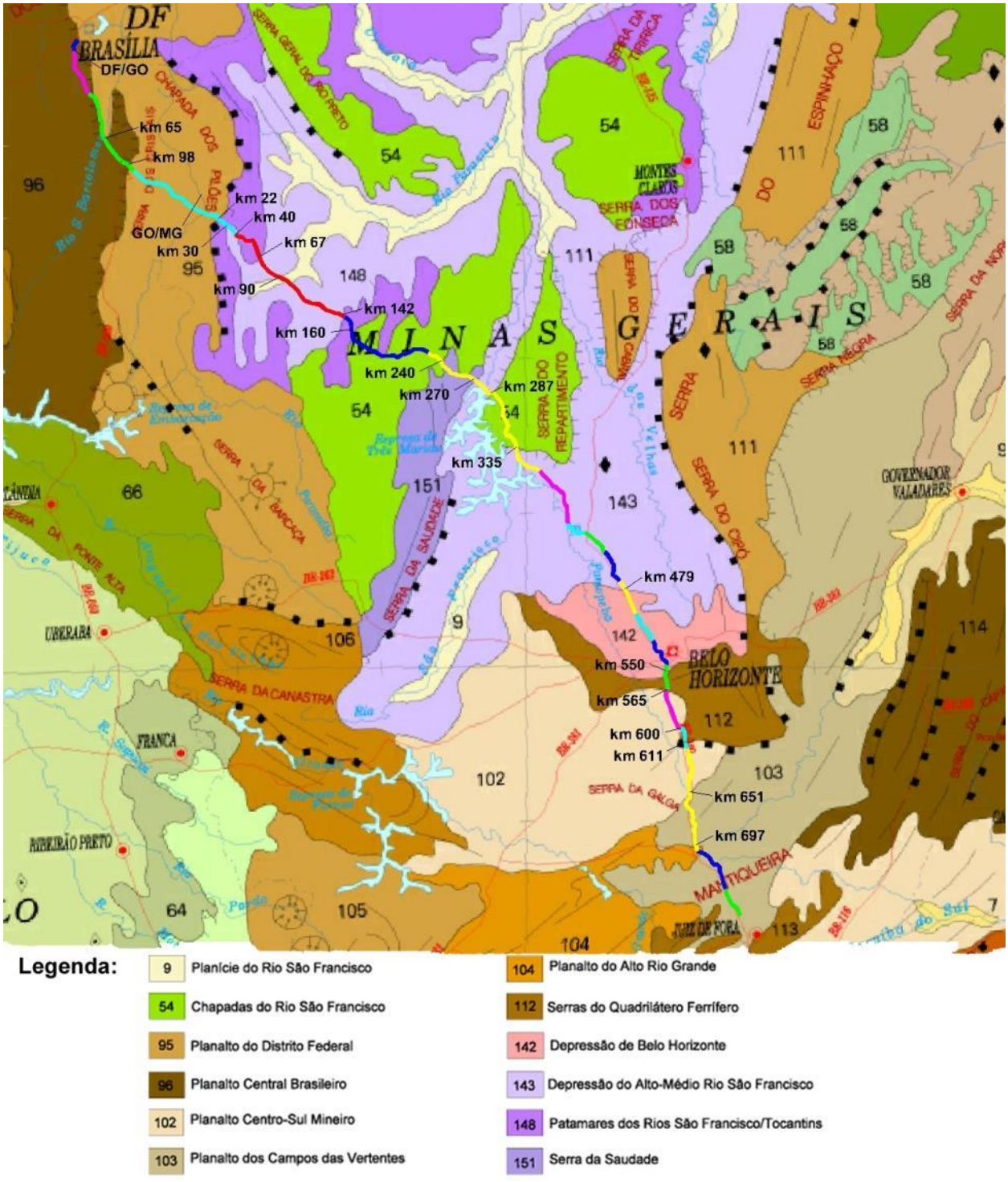


Figura 25 – Eixo da Via040 sobre mapa geomorfológico do Brasil (IBGE, 2006).

Tabela 9 – Segmentos da Via040 e suas respectivas Unidades de relevo.

Segmento	Unidade de Relevo	km Inicial	km Final	UF
1	96 - Planalto Central Brasileiro	0	8,4	DF
2	96 - Planalto Central Brasileiro	0	98	GO
3	95 - Planalto do Distrito Federal	98	157,4	GO
4	95 - Planalto do Distrito Federal	0	22	MG
5	151 - Serra da Saudade	22	30	MG
6	148 - Patamares do Rio São Francisco / Tocantins	30	40	MG
7	151 - Serra da Saudade	40	67	MG
8	148 - Patamares do Rio São Francisco / Tocantins	67	90	MG
9	9 - Planície do Rio São Francisco	90	93	MG
10	148 - Patamares do Rio São Francisco / Tocantins	93	142	MG
11	151 - Serra da Saudade	142	160	MG
12	54 - Chapadas do Rio São Francisco	160	240	MG
13	151 - Serra da Saudade	240	270	MG
14	143 - Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco	270	287	MG
15	54 - Chapadas do Rio São Francisco	287	335	MG
16	143 - Depressão do Alto-Médio Rio São Francisco	335	479	MG
17	142 - Depressão de Belo Horizonte	479	550	MG
18	112 - Serras do Quadrilátero Ferrífero	550	565	MG
19	102 - Planalto Centro-Sul Mineiro	565	600	MG
20	112 - Serras do Quadrilátero Ferrífero	600	611	MG
21	102 - Planalto Centro-Sul Mineiro	611	651	MG
22	103 - Planalto dos Campos das Vertentes	651	697	MG
23	104 - Planalto do Alto Rio Grande	697	704	MG
24	103 - Planalto dos Campos das Vertentes	704	773	MG

VI.7 - TRÁFEGO

Muitos fatores afetam o desempenho a ser oferecido por um determinado pavimento, dentre estes se destacam o número e a magnitude das cargas do tráfego. As ações do clima e do tráfego em conjunto constituem os principais fatores que impõem uma vida útil limitada aos pavimentos (Medina, 1997). Um pavimento dificilmente sofre ruptura catastrófica, a sua degradação se dá de forma contínua, ao longo do tempo. A causa da ocorrência da deformação permanente é devida à ação das cargas do tráfego sobre a superfície dos pavimentos que gera uma deformação total na estrutura. Esta deformação total é composta pelas parcelas de deformação resiliente ou reversível e deformação permanente, ou plástica. A modelagem do tráfego é complexa, sendo necessário obter os dados do volume do tráfego e do carregamento a partir da contagem e da pesagem de veículos.

Visto a importância do conhecimento do tráfego atuante nos pavimentos da Via040 foram realizadas Contagens Volumétricas e Classificatórias - 24 h/dia, totalizadas por intervalo de 60 minutos, durante 7 dias para classificação e composição da frota circulante (37 contagens - 23 postos: 14 sub-trechos de pista dupla e 9 sub-trechos de pista simples). A seguir são apresentados os locais dos postos de contagem e os VMD equivalentes.

- km 7 DF VMD=32.354
- km 12 GO VMD=23.285,07
- km 94,4 GO VMD=6.181,85
- km 144 GO VMD=2.357,35
- km 16 MG VMD=2.503,78
- km 90,5 MG VMD=2.882
- km 172 MG VMD=2.706,64
- km 253 MG VMD=2.184,57
- km 328 MG VMD=2.723,07
- km 404,7 MG VMD=2.336,14
- km 417 MG VMD=3.890,28
- km 435,5 MG VMD=8.703,92
- km 444,9 MG VMD=8.280,78
- km 463,7 MG VMD=12.054,07
- km 489,4 MG VMD=14.331,35
- km 516 MG VMD=29.771,71
- km 541 MG VMD=38.384,78
- km 550,5 MG VMD=31.067,64
- km 576 MG VMD=12.938,64
- km 615,5 MG VMD=14.827,64
- km 642 MG VMD=8.055,64

- km 713 MG VMD=8.503,07
- km 751,5 MG VMD=7.486,57

Na Figura 26 apresentam-se a localização dos postos de contagem e segmentos homogêneos em termos de tráfego sobre o mapa rodoviário do Brasil (DNIT, 2013). Na Figura 27 apresenta-se a locação dos postos de contagem ao longo da rodovia com os VMD obtidos. Na Figura 27 também são apresentados os limites dos segmentos homogêneos em termos de tráfego, determinados com base nos resultados das contagens. As contagens volumétricas classificatórias foram realizadas por meio de instrumentação (Figura 28).

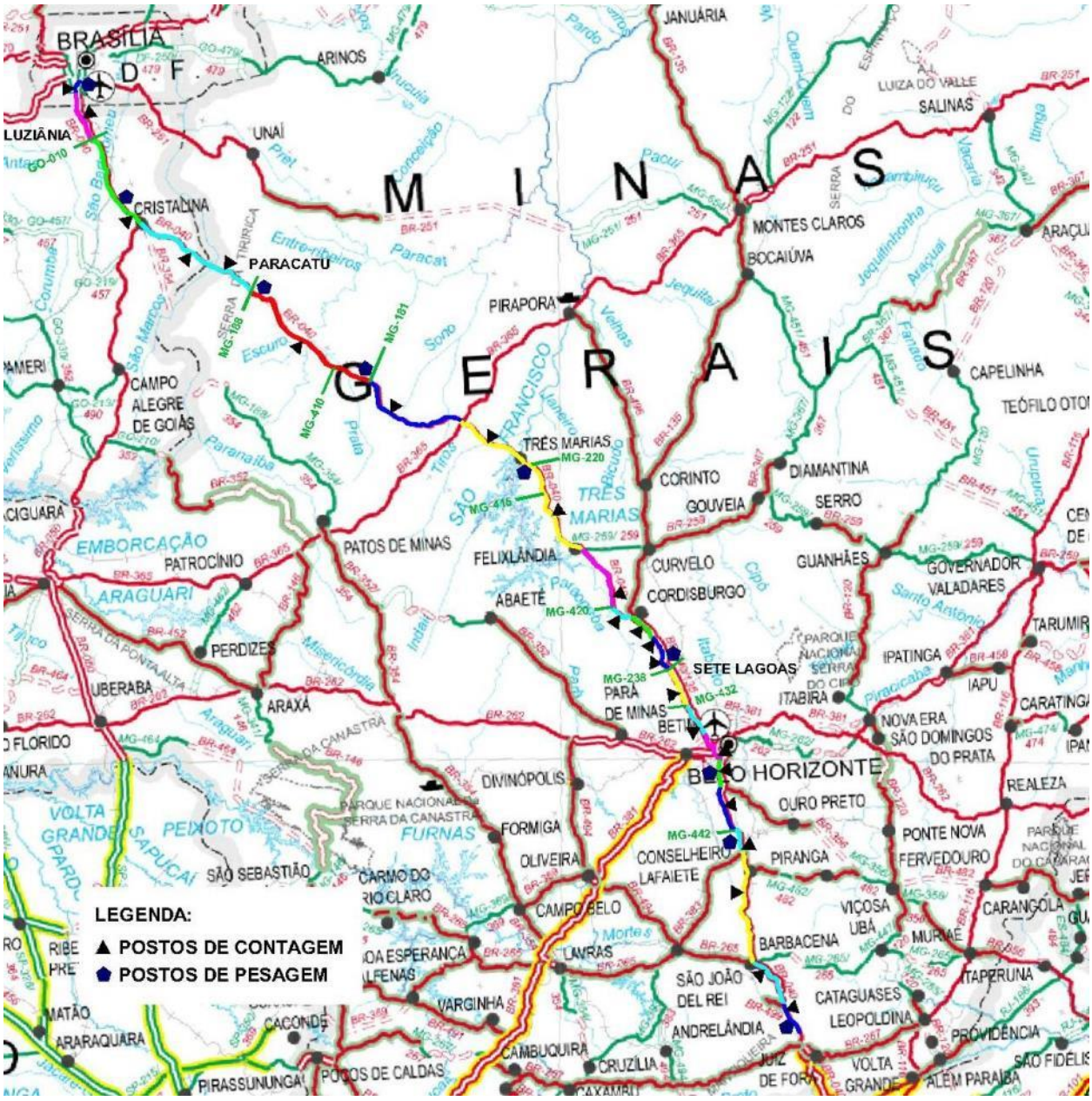


Figura 26 – Mapa rodoviário do Brasil (DNIT, 2013) com a indicação dos postos de contagem e pesagem e segmentos homogêneos em termos de tráfego (cores ao longo do eixo).

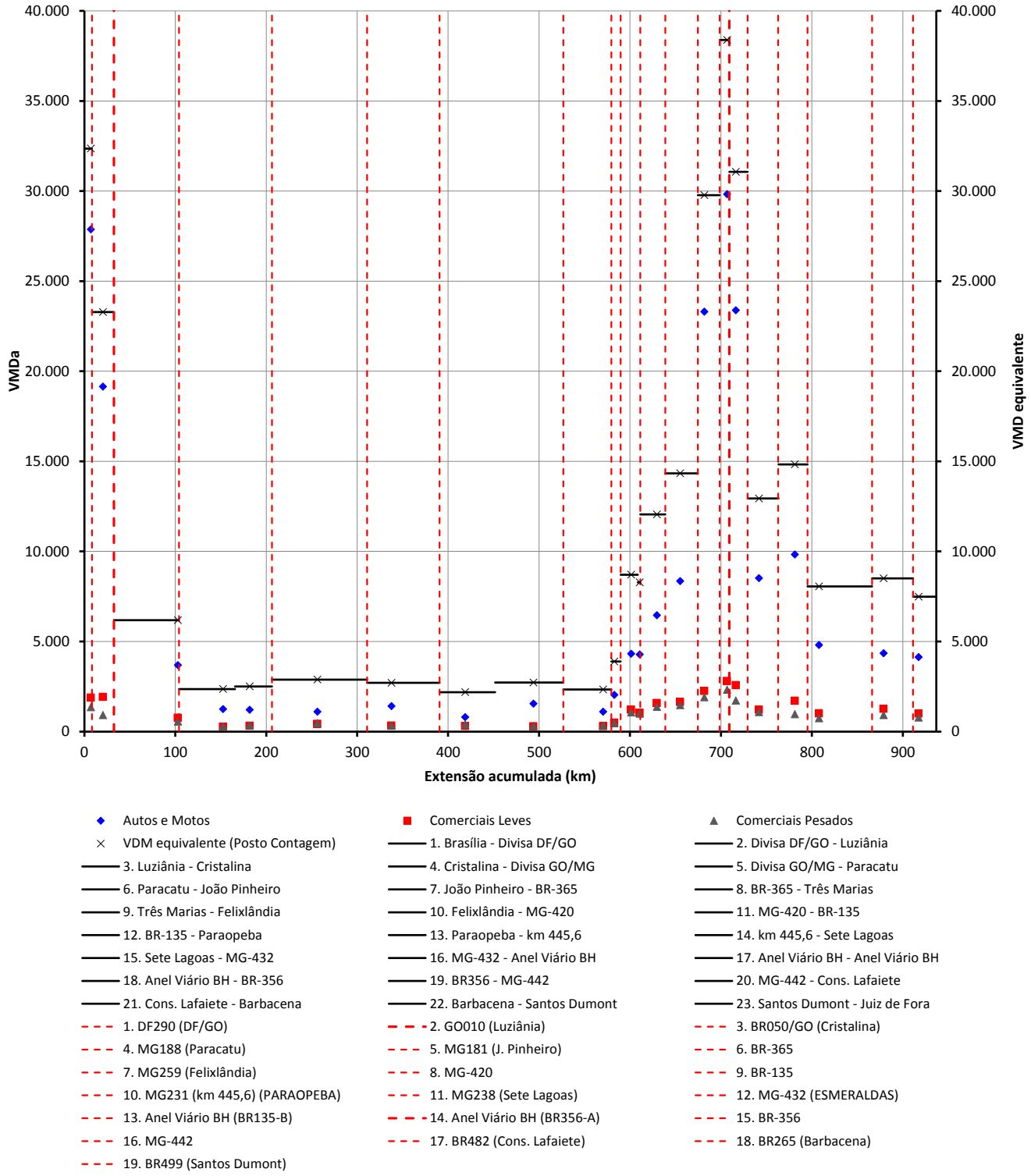


Figura 27 – Resultados das Contagens Volumétricas e Classificatórias realizadas ao longo da Via040, com indicação dos VMDs dos automóveis/motos, veículos comerciais leves e comerciais pesados, do VMD equivalente, da localização dos postos de contagem e dos limites dos segmentos homogêneos em termos de tráfego.



Figura 28 – Contagens por meio de instrumentação realizada na Via040.

Destaca-se a importância do conhecimento do tráfego na definição dos Segmentos Homogêneos (SHs) e Unidades de Amostragem (UAs). Kohler *et al*. (2006), em sua pesquisa para estruturação do SGP do Caltrans estabeleceu que as UAs seriam resultado de uma segmentação realizada na seguinte ordem: Caracterização do Tráfego → Estrutura do Pavimento → Regiões Climáticas → Condições de Superfície. Coloca-se a caracterização do tráfego como principal fator que influencia na segmentação das rodovias. Em diversos modelos de previsão de desempenho dos pavimentos o tráfego é considerado uma das principais variáveis.

Para caracterizar o carregamento atuante nos pavimentos da Via040, foi previsto no Plano de Trabalho a implantação de 9 Postos de Pesagens de Veículos próximos aos postos da Polícia Rodoviária Federal (PRF). Na Figura 26 apresentam-se a localização dos postos de pesagem previstos.

- Santa Maria/DF (km 0);
- Cristalina/GO (km 87);
- Paracatu/MG (km 47,4);
- João Pinheiro/MG (km 144,4);
- Três Marias/MG (km 284,53);
- Sete Lagoas/MG (km 471);
- Nova Lima/MG (km 554,3);
- Congonhas/MG (km 607); e
- Juiz de Fora/MG (km 767,7).

Entretanto, ao contrário do previsto, a localização dos postos de pesagem foi alterada, concentrado as pesagens no Estado de Minas Gerais, conforme apresentado a seguir.

- km 145; João Pinheiro/MG
- km 469; Pista Norte; Sete Lagoas/MG

- km 469; Pista Sul; Sete Lagoas/MG
- km 482; Pista Norte; Sete Lagoas/MG
- km 482; Pista Sul; Sete Lagoas/MG
- km 589; Itabirito/MG
- km 607; Pista Norte; Congonhas/MG
- km 607; Pista Sul; Congonhas/MG
- km 664; Carandaí/MG

Para a pesagem dos veículos foi utilizado um Equipamento Móvel Portátil Dinâmico (operação estatística e quantitativa). A metodologia das pesagens é apresentada a seguir.

- Os veículos de transporte de carga e de passageiros coletivo são direcionados a pesagem através de sinalização vertical de aproximação dispostas a 1000m, 500m, 200m e alça de entrada, e também através da sinalização gestual de trânsito dos operadores devidamente posicionados em pontos estratégicos.

- O operador do terminal de pesagem insere as informações solicitadas pelo sistema (Placa; Quantidade de Eixos e Limite de Peso) e da inicio a pesagem do veiculo.

- O operador de pista orienta os condutores a passarem com seus veículos, mantendo uma velocidade regular e de até 12 Km/h.

- Após o termino da passagem do veiculo, e todos os eixos e/ou grupos de eixos do mesmo, o sistema da informação do resultado da pesagem (Excesso Eixo, PBT/PBTC e CMT), que para este tipo de serviço, Pesagem Estatística, é desprezada e o veiculo é liberado a retornar a rodovia.

- Esse procedimento é repetido durante todo o período de operação para todos os veículos que estiverem trafegando pela via no sentido que o equipamento esta instalado e que adentrarem ao local da pesagem.

- As informações referentes a cada uma das pesagens são arquivadas no banco de dados do sistema e ao termino do dia de trabalho são exportadas para planilha padrão tipo “Excel”, separadas por veiculo e seus dados (data, hora, velocidade, classe de veiculo, peso bruto total e cargas dos eixos/grupos de eixos).

VI.8 – ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS

O levantamento da estrutura dos pavimentos consistiu na determinação das espessuras das camadas de pavimento por meio do equipamento *Ground Penetrating Radar* (GPR) de operação não destrutiva e da abertura de janelas de inspeção ao longo do trecho. A metodologia de análise e precisão dos dados resultantes corresponde aos parâmetros preconizados na norma ASTM D 4748 – 06, para camadas superiores como as betuminosas ou cimentadas.

O GPR é um equipamento mundialmente utilizado, tendo capacidade de adquirir grande quantidade de informação num tempo reduzido. Seu sistema gera imagens do pavimento

utilizando como fonte transmissora uma antena que emite pulsos eletromagnéticos que são ondas de rádio compreendidas dentro do espectro eletromagnético com frequência fixa, possibilitando identificar as localizações e dimensões de camadas e objetos em materiais eletricamente distintos. Na Figura 29 apresenta-se o equipamento utilizado o resultado típico do levantamento com uso de GPR.

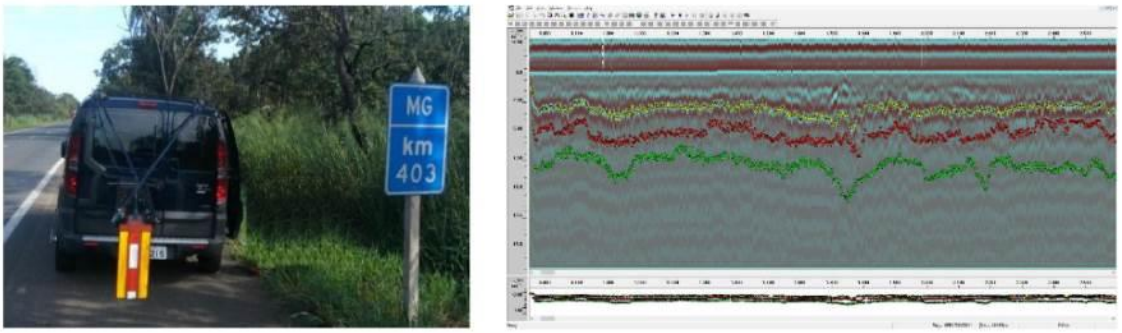


Figura 29 – GPR e resultado típico do levantamento.

Em termos de solos e infraestrutura de pavimentos, é possível identificar a diferença de materiais constituintes, suas espessuras e a presença de água na estrutura.

A magnitude e caráter da onda eletromagnética (EM) são controlados principalmente pelo contraste das propriedades elétricas dos materiais existentes. As variações da velocidade, atenuação do sinal e energia refletida nas interfaces estão diretamente associadas às alterações no teor de umidade do material, uma das principais diferenças que existe entre as camadas de pavimento, possibilitando identificar satisfatoriamente a interface entre uma camada asfáltica ou cimentada sobre uma camada granular, já que estas possuem constantes dielétricas diferentes. Já a interface das camadas granulares inferiores, como sub-bases, conglomerados ou camadas de melhoramento do solo de fundação, se tornam mais complexas para detectar e depende da capacidade dos grãos para drenar as águas sub superficiais.

Operação e Funcionamento

O equipamento é instalado em veículo utilitário, sendo dividido em duas partes: antena que transmite ondas eletromagnéticas e hodômetro para registrar a distância percorrida. O hodômetro é comumente utilizado em equipamentos de alta performance, seu funcionamento se fundamenta no registro de pulsos mediante um encoder ou sensor que converte um movimento angular ou linear em uma série de pulsos digitais elétricos, fornecendo para o controlador dados suficientes para transformá-los em dados de posição, velocidade ou RPM. O levantamento é realizado de forma continua com leituras cada metro, sendo registrados dados em segmentos de 50 km de faixa para manter coerência com o estaqueamento do trecho. Os marcos quilométricos são notados pelo operador para conservar as referencias físicas do trecho. Desta forma, divergências entre estacas e leituras são identificadas e registradas ao longo da rodovia.

Janelas de inspeção

As informações coletadas pelo Georradar são complementadas pela execução de poços ao longo do trecho para reconhecimento dos materiais, possibilitando a descrição e determinação da tipologia das camadas do pavimento existente, bem como a compreensão da heterogeneidade das estruturas.

As janelas realizadas para identificar as estruturas que são submetidas às cargas do tráfego foram realizadas no bordo da pista de rolamento com fechamento de faixa, visando diminuir riscos operacionais (Figura 30). Para cada janela de inspeção realizada foi registrada a identificação visual dos materiais de base, sub-base e subleito. Não foram realizados ensaios de laboratório para caracterização de materiais em especificações existentes.



Figura 30 - Janelas executadas na pista.

Interpretação e análise de dados

Por meio do software Radan, é feita a interpretação contínua de dados – analisando resultados ponto a ponto – de toda a extensão do trecho, delimitando linhas divisórias de camadas que correspondem às interfaces de onda conforme descrito acima. Utiliza-se o princípio de "Gráfico de Dispersão", onde o acúmulo/aglomeração de pontos em certa região é considerado como a média e assim, delimitadora entre camada. Através do levantamento feito pelo GPR, pode-se caracterizar a estrutura do pavimento apenas dimensionalmente. Para sua completa caracterização, é necessária a abertura de janelas em pontos estratégicos.

Elaboração do perfil estratigráfico

Os dados apresentados no relatório correspondem à média calculada em segmentos de 100 m, sendo uma representação estatística das condições estruturais do pavimento existente. A análise contínua dos dados permite identificar segmentos peculiares através de linhas delimitadores interpretativas, sempre se tratando de aspecto dimensional. Para uma real classificação e tipificação do material, é necessária a abertura de poços de inspeção nesses pontos.

Dificuldades de análise

Alguns fatores podem interferir no momento da interpretação dos dados, gerando certa dificuldade no momento da elaboração do perfil estratigráfico.

- Variações localizadas de umidade

Como a divisão de camadas é delimitada pela alteração de umidade entre elas, qualquer variação pontual pode interferir na delimitação contínua, ou até mesmo provocar a ausência de alguns pontos.

- Ausência de janelas ou janelas não demonstrativas

Como já citado anteriormente, a presença de janelas de inspeção é fundamental para conferência de camadas. Permitem não só a descrição, mas como a determinação da tipologia do pavimento existente e sua estrutura.

- Presença de materiais lateríticos

Materiais lateríticos oxidados parcialmente geram interfaces adicionais ou delimitações de novas subcamadas. Para auxílio de interpretação nesses casos, foram utilizados além de janelas mais próximas (em situações que mantinham certa uniformidade), dados obtidos através de levantamento deflectométrico.

Resultados Obtidos

Em geral, se observou que os segmentos estruturais da Via 040 são esbeltos, integrados por camadas asfálticas entre 10 e 30 cm, apoiados sobre bases entre 20 e 40 cm de espessura. Grande parte da extensão apresenta sub-bases granulares ou camadas de reforço com espessuras superiores a 50 cm.

VI.9 - ORGANIZAÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES NO SGD

Entre as razões para o desenvolvimento do Sistema Gerenciador de Dados (SGD) citam-se as análises para refinamento da segmentação da rodovia e a pré-definição das Unidades de Amostragem (itens V.3 e V.4 do Relatório Trimestral 02 - RT-02). Para tanto, foi necessário que as matrizes dos dados levantados em diferentes espaçamentos fossem importadas (armazenadas) para o SGD, objetivando a organização e estruturação adequada para a elaboração das análises desejadas. As informações completas das campanhas de levantamento, estudos, pesquisas e cálculos realizados no ano de 2015, por meio do projeto de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT), foram armazenadas, organizadas e estruturadas no Sistema Gerenciador de Dados (SGD). Em linhas gerais, os dados referem-se às: (i) condições funcional e estrutural do pavimento; (ii) estrutura do pavimento (espessura das camadas); (iii) tráfego (contagem classificatória, VMD e número N); (iv) geometria (IGV e IGH); (v) condições de drenagem; (vi) geomorfologia; e (vii) características climáticas. Na atual etapa de alimentação do SGD houve um direcionamento das informações contidas no Banco de Dados, montado no RT-02, para haver uma compatibilização com os parâmetros de entrada do sistema HDM-4. Na prática as informações adicionais são representadas por colunas extras no Banco de Dados. Foram

montados três Bancos de Dados: (A) segmentos fixos de 250m; (B) segmentos (SH) obtidos a partir dos estudos de segmentação homogênea; e (C) unidades de amostragem (UAs). A seguir apresenta-se a organização e estrutura das informações organizadas nos Bancos de Dados (A, B e C) produzidos a partir do uso do SGD.

- Localização

km INICIAL e km FINAL

- Data

Ano de obtenção das informações

- Levantamento Visual Contínuo Informatizado pelo Método da Varredura (Condição Funcional)

TR 2 (%) e TR 2 (m^2): Trincas Classe 2 em percentagem e área

TR 3 (%) e TR 3 (m^2): Trincas Classe 3 em percentagem e área

TR (%) e TR (m^2): Trincamento em percentagem e área

Classe TR: classificação da condição superficial do pavimento através do percentual médio do trincamento, conforme preconizado na Tabela *Surface Distresses* do sistema HDM-4

AF LOC: Afundamento Localizado

AF TRIL: Afundamento de Trilha de Roda (extensão da ocorrência do defeito – diferente de flecha que é medida em profundidade com treliça ou laser)

OND: Ondulação

PAN: Panela

EXSUD: Exsudação

DESG: Desgaste

REM: Remendo

ESC: Escorregamento

QB: Quebra de Bordo (defeito previsto no HDM-4)

TB: Tapa Buraco (não previsto na Norma DNIT 005/2003 – TER)

- Afundamento de Trilha de Roda (ATR) ou Flecha

ATR INT.: Afundamento de Trilha de Roda Interna

ATR EXT.: Afundamento de Trilha de Roda Externa

ATR Méd: Afundamento de Trilha de Roda Média ((ATR INT + ATR EXT) / 2)

Classe ATR: classificação da condição superficial do pavimento através do valor médio do Afundamento de Trilha de Roda (ATR), conforme preconizado na Tabela *Surface Distresses* do sistema HDM-4

- Defeitos de Superfície

A classificação dos defeitos de superfície foi determinada conforme indicado na Tabela *Surface Distresses* da configuração *default* do sistema HDM-4.

Tabela *Surface Distresses* (HDM-4).

	Bituminous				
Distress Mode	**Cracking (%)**	**Ravelling (%)**	**N. Potholes per km**	**Edge Break (m^2 per km)**	**Mean Rut Depth (mm)**
New	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Good	0,00	1,00	0,00	0,00	2,00
Fair	5,00	10,00	0,00	10,00	5,00
Poor	15,00	20,00	5,00	100,00	15,00
Bad	25,00	30,00	50,00	300,00	25,00

- Bacia de Deflexão (Condição Estrutural)

Do: Deflexão Máxima (ponto de aplicação da carga - offset 0)

D1: Deflexão à 20 cm da aplicação da carga (offset 20 cm)

D2: Deflexão à 30 cm da aplicação da carga (offset 30 cm)

D3: Deflexão à 45 cm da aplicação da carga (offset 45 cm)

D4: Deflexão à 60 cm da aplicação da carga (offset 60 cm)

D5: Deflexão à 90 cm da aplicação da carga (offset 90 cm)

D6: Deflexão à 120 cm da aplicação da carga (offset 120 cm)

SNP: número estrutural do pavimento, determinado pelas Equações apresentadas a seguir.

$$SNP = 3{,}2.Do^{-0{,}63}$$

Onde Do é a deflexão máxima em mm.

Resistência do Pavimento*: classificação da resistência do pavimento em função do tipo de tráfego (baixo, médio e alto) e do número estrutural (SNP), conforme indicado na Tabela *Pavement Strength* da configuração *default* do sistema HDM-4.

Tabela *Pavement Strength*

	Bituminous: SNP		
Traffic Band	**Low**	**Medium**	**High**
Poor	1,50	2,00	2,50
Fair	2,00	2,50	3,50
Good	2,50	3,50	5,00

- Irregularidade Longitudinal IRI (Condição Funcional relacionada ao Conforto e Qualidade do Pavimento)

IRI esq: Irregularidade Longitudinal (IRI) na Trilha de Roda da Esquerda

IRI dir: Irregularidade Longitudinal (IRI) na Trilha de Roda da Direita

IRI méd: Irregularidade Longitudinal (IRI) Média ((IRI esq + IRI dir) / 2)

Qualidade ao Rolamento: classificação da qualidade ao rolamento em função da Classe da Rodovia e do tipo de revestimento do pavimento, conforme indicado na Tabela *Ride Quality in IRI (m/km)* da configuração *default* do sistema HDM-4.

Tabela *Ride Quality in IRI (m/km)*

	Bituminous			
Road Class	Good	Fair	Poor	Bad
Primary or Trunk	2,0	4,0	6,0	8,0
Secondary or Main	3,0	5,0	7,0	9,0
Tertiary or Local	4,0	6,0	8,0	10,0

- Estrutura do Pavimento (Levantamento com uso do GPR)

CA: Espessura do Concreto Asfáltico

C2: Espessura da Camada Inferior ao Concreto Asfáltico

C3: Espessura da Camada subjacente à C2

C4: Espessura da Camada subjacente à C3

C5: Espessura da Camada subjacente à C4

Z Subleito: Profundidade do sub-leito

- Compactação Relativa (%)

- Qualidade da Construção

A qualidade da construção foi determinada em função da compactação relativa, conforme indicado na Tabela *Construction Quality* da configuração *default* do sistema HDM-4.

Tabela *Construction Quality*

Construction Quality	Construction defect indicator for bituminous surfacing (CDS)	Construction defect indicator for road base (CDB)	Relative compaction (%)
Good	1,00	0,00	97,00
Fair-brittle	0,75	0,80	91,00
Fair-soft	1,25	0,80	91,00
Poor-brittle	0,50	1,50	85,00
Poor-soft	1,50	1,50	85,00

- Surface Texture

HS: Altura da mancha de areia (mm) obtida pelo Ensaio de Mancha de Areia

VRD: Valor de Resistência a Derrapagem

Classe: classificação da textura da superfície do pavimento determinada a partir do tipo de revestimento (Tratamento Superficial ou Mistura Asfáltica) e dos valores médios de HS e VRD, conforme indicado na Tabela *Surface Texture* da configuração *default* do sistema HDM-4.

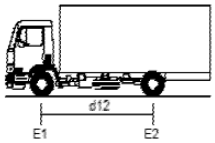
Tabela *Surface Texture*

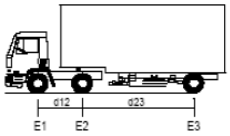
	ST Pavements		AM Pavements	
Surface Texture	Texture Depth (mm)	Skid resistance (SCRIM at 50 km/h)	Texture Depth (mm)	Skid resistance (SCRIM at 50 km/h)
Good	1,50	0,60	0,70	0,50
Fair	0,70	0,45	0,50	0,40
Slippery	0,30	0,30	0,30	0,30

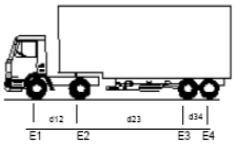
- Contagem de Tráfego

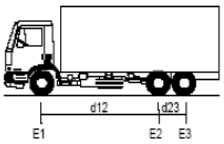
Motos: 

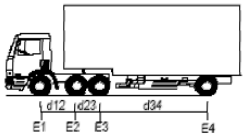
Auto e Auto+1e: Automóveis 

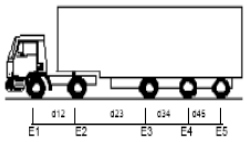
2C: Veículo Comercial Leve com dois eixos 

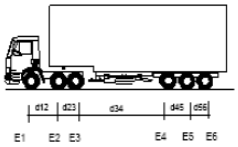
2S1: Veículo Comercial Leve com três eixos 

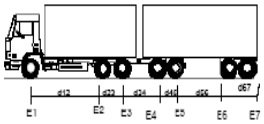
2S2: Veículo Comercial Leve com quatro eixos 

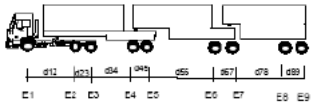
3C: Veículo Comercial Pesado com três eixos 

3S1: Veículo Comercial Pesado com quatro eixos 

2I3: Veículo Comercial Pesado com cinco eixos 

3S3: Veículo Comercial Pesado com seis eixos 

3D4: Veículo Comercial Pesado com sete eixos 

3T6: Veículo Comercial Pesado com nove eixos 

- Volume Médio Diário (VMD)

Moto: Volume Médio Diário (VMD) das motos que trafegam no trecho

Auto: Volume Médio Diário (VMD) dos automóveis que trafegam no trecho

Leve: Volume Médio Diário (VMD) dos veículos comerciais leves que trafegam no trecho

Pesado: Volume Médio Diário (VMD) dos veículos comerciais pesados que trafegam no trecho

VDM eq: Volume Médio Diário Equivalente (VMD_{eq})

Volume de Tráfego AADT: classificação do tipo de tráfego em função do *Annual Average Daily Traffic (veh/day)* e do tipo de revestimento do pavimento, conforme indicado na Tabela *AADT* da configuração *default* do sistema HDM-4.

Tabela *Annual Average Daily Traffic (AADT)*

	Surface Class AADT		
Traffic Band	**Bituminous**	**Unsealed**	**Concrete**
Low	750	75	3000
Medium	3000	175	7500
High	7500	800	15000

- Progressão do Tráfego

N (2015): Número N no ano de 2015

N (2020): Projeção do Número N para o ano de 2020

N (2025): Projeção do Número N para o ano de 2025

- Índices de Geometria

IGH: Índice de Geometria Horizontal (graus por quilômetro)

IGV (m/km): Índice de Geometria Vertical (metro por quilômetro)

IGV (N/km): Índice de Geometria Vertical (número de subidas e descidas por quilômetro)

Geometria Horizontal: classificação da rodovia quanto à geometria da diretriz em planta, podendo ser Reta, Praticamente Reta, Pouco Sinuosa e Sinuosa.

Geometria Vertical: classificação da rodovia quanto ao perfil longitudinal, podendo ser Plana, Praticamente Plana, Suavemente Ondulada e Muito Ondulada.

Classe Geométrica da Rodovia: combinação da classificação da rodovia em relação aos valores médios das geometrias horizontal e vertical, conforme indicado na Tabela *Geometry* da configuração *default* do sistema HDM-4.

Tabela *Geometry*

Geometry Class	Rise + Fall (m/km)	Number of rises and Fall per Km	Horizontal Curvature (°/km	Superelevation (%)	Speed Limit (km/h)
Straight and level Reta plana	1,0	1,0	3,0	2,0	110
Mostly Straight and Gently Undulating Praticamente reta e suavemente ondulado	10,0	2,0	15,0	2,5	100
Bendy and Generally Level Pouco sinuosa e praticamente plana	3,0	2,0	50,0	2,5	100
Bendy and Gently Undulating Pouco sinuosa e suavemente ondulada	15,0	2,0	75,0	3,0	80
Bendy and Severely Undulating Pouco sinuosa e muito ondulada	25,0	3,0	150,0	5,0	70
Winding and Gently Undulating Sinuosa e suavemente ondulada	20,0	3,0	300,0	5,0	60
Winding and Severely Undulating Sinuosa e muito ondulada	40,0	4,0	500,0	7,0	50

- Condição de Drenagem

Condições de drenagem dos pavimentos da Via040

- Coordenadas Geográficas (UTM)

LAT: Latitude (UTM)

LONG: Longitude (UTM)

Z: Cota em relação ao nível do mar (m)

- Geomorfologia

Segmentos determinados a partir dos compartimentos geomorfológicos

- Clima

Características do clima obtidas por meio da segmentação climática

A seguir na Tabela 10 apresenta-se o modelo das Matrizes de Dados indicando os valores médios dos parâmetros gerados pelo Sistema Gerenciador de Dados (SGD), com espaçamento fixo de 250 m. O mesmo modelo foi adotado para as matrizes dos Segmentos Homogêneos (SHs) e Unidades de Amostragem (UAs).

Tabela 10 – Modelo da Matriz de Dados gerada pelo Sistema Gerenciador de Dados (SGD) a partir das informações levantadas sobre os pavimentos da Via040. No exemplo apresenta-se a matriz da rodovia com espaçamento fixo de 250m. O mesmo modelo de matriz foi aplicada para os SHs e UAs.

km INICIAL	km FINAL	SENTIDO	UF	DATA	PISTA	LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO INFORMATIZADO PELO MÉTODO DA VARREDURA (CONDIÇÃO FUNCIONAL)																
						TR 2 (%)	TR 2 (m2)	TR 3 (%)	TR 3 (m2)	TR (%)	TR (m2)	Classe TR	AF LOC	AF TRIL	OND	PAN	EXUD	DESG	REM	ESC	QB	TB
0	250	Crescente	MG	2015	Simples	34,20%	23,96	0,00%	0,00	34,20%	23,96	Bad	0,00	0,62	0,62	0,00	0,00	0,23	4,23	0,92	0,00	0,00
250	500	Crescente	MG	2015	Simples	7,90%	5,52	0,00%	0,00	7,90%	5,52	Fair	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00
500	750	Crescente	MG	2015	Simples	22,30%	15,62	0,00%	0,00	22,30%	15,62	Poor	0,00	1,77	0,23	0,00	0,00	1,08	2,54	0,00	0,00	0,00
750	1000	Crescente	MG	2015	Simples	24,40%	17,10	0,00%	0,00	24,40%	17,10	Poor	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,54	0,00	0,00
1000	1250	Crescente	MG	2015	Simples	24,40%	17,10	0,00%	0,00	24,40%	17,10	Poor	0,00	1,15	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	5,62	0,00	0,00
1250	1500	Crescente	MG	2015	Simples	16,70%	11,71	0,00%	0,00	16,70%	11,71	Poor	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	0,54	0,00	5,15	0,00	0,00
1500	1750	Crescente	MG	2015	Simples	33,30%	23,29	0,00%	0,00	33,30%	23,29	Bad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,62	0,00	0,00
1750	2000	Crescente	MG	2015	Simples	34,20%	23,96	0,00%	0,00	34,20%	23,96	Bad	0,00	1,85	0,31	0,00	0,54	0,00	0,31	2,46	0,00	0,00
2000	2250	Crescente	MG	2015	Simples	1,70%	1,21	0,00%	0,00	1,70%	1,21	Good	0,00	1,31	2,00	0,00	0,00	0,00	0,08	3,92	0,00	0,00

ATR				DEFEITOS DE SUPERFÍCIE	BACIA DE DEFLEXÃO (CONDIÇÃO ESTRUTURAL)								
ATR INT.	ATR EXT.	ATR Méd	Classe ATR		D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	SNP	Resistência do Pavimento
0,4	3,7	2,1	Good	Good	26,1	16,4	13,7	10,7	8,7	5,4	3,5	7,5	Good
2,4	1,1	1,8	New	New	21,4	15,0	13,2	10,8	9,4	6,3	4,2	8,5	Good
0,2	2,9	1,6	New	New	32,2	23,1	19,1	15,1	12,6	8,5	5,6	6,5	Good
0,8	1,6	1,2	New	New	39,4	27,0	21,5	16,3	13,1	8,3	5,5	5,8	Good
1,2	1,0	1,1	New	New	24,6	18,5	15,4	12,1	10,2	6,9	5,1	7,8	Good
1,7	0,9	1,3	New	New	21,3	15,0	12,3	9,7	8,5	5,9	4,2	8,5	Good
1,6	1,3	1,4	New	New	32,3	22,4	17,6	12,8	10,3	6,8	4,3	6,5	Good
4,5	0,4	2,4	Good	Good	28,1	22,6	19,6	16,0	13,7	9,7	6,7	7,1	Good
3,5	2,0	2,8	Good	Good	24,4	13,7	10,8	8,3	6,7	4,3	2,5	7,8	Good

IRI (CONFORTO)				ESTRUTURA DO PAVIMENTO (LEV. GPR)						COMPACTAÇÃO RELATIVA (%)	QUALIDADE DA CONSTRUÇÃO	Surface Texture		
IRI esq	IRI dir	IRI méd	Qualidade ao Rolamento	CA	C2	C3	C4	C5	Z Subleito			HS	VRD	Classe
4,5	4,6	4,6	Poor	11,1	49,7	0,0	0,0	0,0	60,9	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
3,6	2,9	3,2	Fair	14,1	40,1	13,1	0,0	0,0	67,4	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,4	2,8	2,6	Fair	17,1	35,6	18,6	0,0	0,0	71,2	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
3,0	3,2	3,1	Fair	14,5	43,3	17,1	0,0	0,0	74,9	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,5	2,2	2,4	Fair	12,0	46,4	0,0	0,0	0,0	57,3	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,2	2,3	2,2	Fair	15,6	37,3	0,0	0,0	0,0	52,9	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,6	3,0	2,8	Fair	14,8	31,6	0,0	0,0	0,0	46,4	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,3	2,4	2,4	Fair	15,7	34,9	0,0	0,0	0,0	50,6	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,7	3,5	3,1	Fair	17,1	31,2	0,0	0,0	0,0	48,3	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom

CONTAGEM DE TRÁFEGO																							
Motos	Motos%	Auto	Auto%	Auto+1e	Auto+1e%	2C	2C%	2S1	2S1%	3C	3C%	2S2	2S2%	3S1	3S1%	2I3	2I3%	3S3	3S3%	3D4	3D4%	3T6	3T6%	%
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	**100,00%**
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	**100,00%**
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	**100,00%**
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	**100,00%**
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	**100,00%**
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	**100,00%**
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	**100,00%**
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	**100,00%**
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	**100,00%**

VOLUME MÉDIO DIÁRIO (VMD)						PROGRESSÃO DO TRÁFEGO			IGH	IGV		GEOMETRIA HORIZONTAL	GEOMETRIA VERTICAL	CLASSE GEOMETRIA DA RODOVIA
Moto	Auto	Leve	Pesado	VDM eq	Volume de Tráfego AADT	N (2015)	N (2020)	N (2025)		m/km	N/km			
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado

CONDIÇÃO DE DRENAGEM	COORDENADAS			GEOMORFOLOGIA	CLIMA
	LAT	LONG	Z		
BOA	-17,0350	-47,1600	806,2310	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0360	-47,1580	805,1540	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0370	-47,1560	806,7690	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0380	-47,1530	815,1540	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0390	-47,1510	823,6150	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0400	-47,1490	831,6920	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0410	-47,1470	835,5380	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0420	-47,1450	846,6920	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0430	-47,1430	858,7690	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)

VI.10 - DEFINIÇÃO DA SEGMENTAÇÃO HOMOGÊNEA

Os estudos de definição dos segmentos homogêneos foram realizados em duas etapas. A primeira (RT01) delimitou os segmentos a partir dos dados de deflexão utilizando o procedimento do Método das Diferenças Acumuladas da AASHTO (1993). A segunda fase, parte integrante do escopo do presente relatório (RT02), também fez uso do método. Foram definidos os segmentos homogêneos com base na estrutura do pavimento (espessura do concreto asfáltico CA) e nos parâmetros que refletem as condições estrutural e funcional dos pavimentos (Deflexão, Trincamento, Afundamento de Trilha de Roda ATR e Irregularidade Longitudinal IRI). Na Tabela 11 apresenta-se o resumo das quantidades de segmentos obtidas aplicando o método da AASHTO (1993) para Deflexão, Trincamento, ATR, IRI e espessura do CA.

Tabela 11 – Segmentos por parâmetro obtidos por meio do Método das Diferenças Acumuladas.

UF	Parâmetro				
	Do	TR	ATR	IRI	CA
DF	4	2	5	3	6
GO	36	30	63	20	39
MG	199	91	110	73	132

VI.10.1 - MÉTODO DAS DIFERENÇAS ACUMULADAS

O "Método das Diferenças Acumuladas" (*Analysis Unit Delineation by Cumulative Differences*), recomendado pela AASHTO (1993), é apresentado a seguir:

1. Calcula-se o valor médio da deflexão para todo o trecho (D).
2. Calcula-se a diferença entre cada valor individual e o valor médio.
3. Calculam-se os valores acumulados das diferenças.
4. Plota-se em um gráfico, nas abscissas as distâncias e nas ordenadas os valores acumulados das diferenças.

Cada variação de coeficiente angular da curva obtida indica uma mudança do comportamento médio de um determinado segmento para outro, delimitando as extremidades dos segmentos homogêneos. Analiticamente considera-se:

Deflexão média:

$$\overline{Di} = \frac{D(i-1) + Di}{2}$$

Área entre estações e curva:

$$Ai = \overline{Di}\ x\ \Delta li$$

Onde:

$\overline{Di} =$ deflexão na estaca i;

$\Delta li = =$ distância entre estações.

Área acumulada:

$$Ac = \sum_{i=1}^{n} Ai$$

Distância acumulada:

$$Lc = \sum_{i=1}^{n} \Delta li$$

Diferença acumulada:

$$Zi = \sum Ai - \tan\alpha \sum \Delta li$$

Onde:

$$\tan\alpha = \frac{Ac}{Lc}$$

A Tabela 12 e a Figura 31 exemplificam o procedimento aplicado para a Pista 3 do DF.

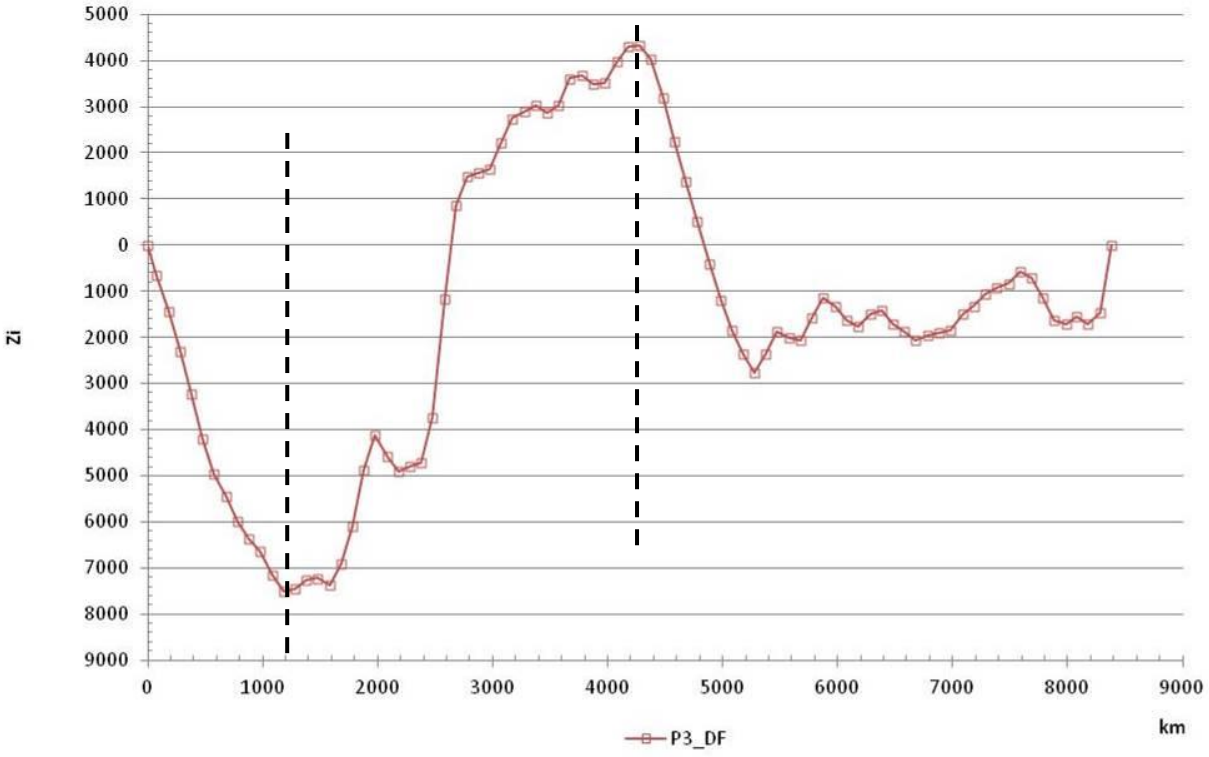


Figura 31 - Exemplo de delimitação dos segmentos homogêneos pelo método das diferenças acumuladas (AASHTO, 1993) e análise dos dados.

Tabela 12 – Exemplo de cálculo para determinação dos Segmentos Homogêneos.

Ponto	Deflexãoi (0,01mm)	D	Δli	Σδli	Ai	ΣAi	Zi
0	8	0	0	0	0	0	0
80	9	8,5	80	80	676	676	-657
180	9	8,9	100	180	888	1564	-1435
280	7	8,1	100	280	809	2373	-2294
380	8	7,2	100	380	723	3095	-3238
480	7	7,1	100	480	709	3804	-4195
580	11	9	100	580	896	4700	-4966
680	13	11,9	100	680	1190	5890	-5442
780	10	11,1	100	780	1109	6999	-6001
880	16	12,9	100	880	1293	8292	-6374
980	12	14	100	980	1397	9688	-6644
1080	11	11,5	100	1080	1149	10837	-7162
1180	15	13,3	100	1180	1327	12164	-7502
1280	19	17,3	100	1280	1726	13889	-7443
1380	18	18,5	100	1380	1852	15741	-7258
1480	16	17	100	1480	1704	17444	-7221
1580	14	15,2	100	1580	1520	18964	-7368
1680	28	21,2	100	1680	2118	21082	-6917
1780	21	24,8	100	1780	2485	23566	-6099
1880	36	29	100	1880	2897	26463	-4869
1980	12	24,3	100	1980	2427	28889	-4109
2079	12	11,9	99	2079	1182	30071	-4577
2179	15	13,4	100	2179	1345	31416	-4899
2279	20	17,7	100	2279	1772	33188	-4794
2379	15	17,5	100	2379	1751	34938	-4710
2479	38	26,5	100	2479	2646	37584	-3730
2579	46	42,2	100	2579	4224	41808	-1173
2679	28	36,9	100	2679	3695	45503	855
2779	18	22,9	100	2779	2290	47792	1478
2879	17	17,6	100	2879	1761	49553	1572
2979	18	17,5	100	2979	1752	51304	1657
3073	27	22,6	94	3073	2123	53427	2213
3173	17	22	100	3173	2199	55626	2745
3273	20	18,2	100	3273	1817	57442	2895
3373	16	18	100	3373	1803	59245	3031
3473	14	15	100	3473	1498	60743	2862
3573	23	18,3	100	3573	1832	62575	3028
3673	22	22,5	100	3673	2252	64826	3612
3773	13	17,3	100	3773	1734	66560	3679
3873	17	14,8	100	3873	1479	68039	3492
3973	17	17	100	3973	1695	69734	3520
4080	25	21	107	4080	2242	71976	3979
4180	15	20	100	4180	2001	73977	4314
4280	18	16,9	100	4280	1685	75662	4332
4380	9	13,7	100	4380	1372	77034	4037
4480	7	8,2	100	4480	816	77850	3186
4580	7	7,2	100	4580	725	78574	2244
4680	9	8,1	100	4680	811	79385	1388
4780	7	8	100	4780	802	80186	523
4880	8	7,5	100	4880	747	80933	-397
4980	10	8,8	100	4980	881	81813	-1183
5076	10	9,9	96	5076	946	82759	-1837
5176	13	11,3	100	5176	1134	83893	-2370
5276	13	12,8	100	5276	1279	85172	-2757
5376	28	20,6	100	5376	2062	87234	-2362
5476	15	21,7	100	5476	2168	89402	-1861
5576	15	15,2	100	5576	1518	90920	-2010
5676	17	16,3	100	5676	1626	92545	-2051
5776	25	21,3	100	5776	2134	94679	-1584
5876	17	21,2	100	5876	2118	96796	-1133
5976	13	14,7	100	5976	1473	98269	-1326
6080	15	13,7	104	6080	1427	99696	-1633
6180	16	15,3	100	6180	1531	101227	-1768
6280	23	19,3	100	6280	1930	103157	-1505
6380	12	17,6	100	6380	1758	104915	-1414
6480	15	13,7	100	6480	1369	106284	-1712
6580	15	15,2	100	6580	1516	107799	-1863
6680	14	14,7	100	6680	1474	109273	-2055
6780	21	17,7	100	6780	1771	111044	-1951
6880	13	17,2	100	6880	1716	112760	-1902
6980	21	17,2	100	6980	1722	114482	-1847
7086	19	20,1	106	7086	2126	116607	-1487
7186	18	18,4	100	7186	1838	118445	-1316
7286	21	19,2	100	7286	1922	120366	-1062
7386	15	18	100	7386	1800	122166	-929
7486	20	17,7	100	7486	1765	123931	-830
7586	19	19,2	100	7586	1919	125849	-578
7686	12	15,5	100	7686	1549	127398	-696
7786	12	12,3	100	7786	1226	128624	-1137
7886	11	11,7	100	7886	1174	129797	-1630
7986	20	15,8	100	7986	1582	131379	-1715
8079	17	18,4	93	8079	1708	133087	-1557
8179	14	15,2	100	8179	1519	134605	-1705
8279	24	19,1	100	8279	1910	136515	-1462
8379	38	31,3	100	8379	3129	139644	0

Na primeira etapa (RT01), objetivando verificar correlações entre as condições funcional e estrutural foram plotados no mesmo gráfico os resultados do Método da AASHTO (1993) para Deflexão e Trincamento. Conforme observado na Figura 32, os segmentos com base no trincamento foram bastante coincidentes com aqueles calculados pela deflexão, indicando que existem trechos da Via040 em que pode haver correlações entre o trincamento e a deflexão. Entretanto, ocorreram trechos em que a variações de coeficiente angular não foram coincidentes.

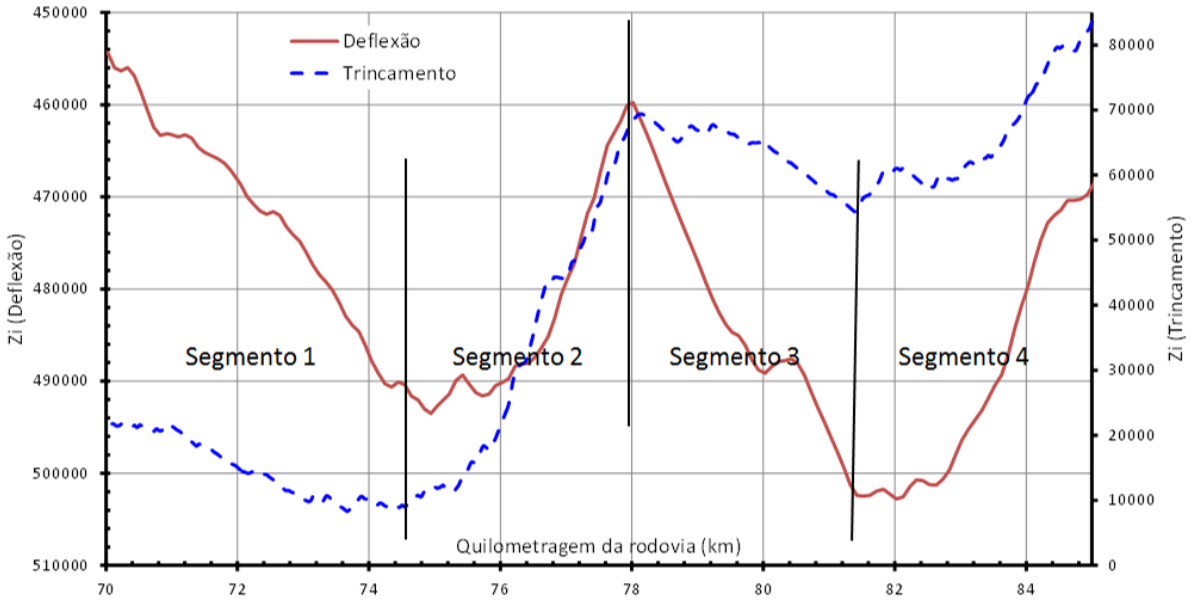


Figura 32 – Segmentação homogênea pelo método das diferenças acumuladas (AASHTO, 1993). Para fins de ilustração delimitaram-se os segmentos mais evidentes.

No relatório RT-02 foram apresentados os resultados da segmentação homogênea para cada parâmetro analisado: Deflexão Máxima (Do); Trincamento (TR); Afundamento de Trilha de Roda (ATR); Irregularidade Longitudinal (IRI) e Espessura do Concreto Asfáltico (GPR).

VI.10.2 – SEGMENTOS HOMOGÊNEOS

Após aplicar o Método das Diferenças Acumuladas (AASHTO, 1993), foi feita a fusão (ou interpolação) em matriz única dos segmentos obtidos por parâmetro (Deflexão, Trincamento, ATR, IRI e espessura do CA) para definição dos Segmentos Homogêneos. O número total de segmentos homogêneos é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Relação do número total de segmentos homogêneos por Unidade de Federação obtidos pela fusão das matrizes da segmentação dos parâmetros Do, TR, ATR, IRI e CA.

Número Total de Segmentos	**DF**	**11**	**und**
	GO	**138**	**und**
	MG	**485**	**und**

A relação (ou lista) dos segmentos homogêneos foi importada para o Sistema Gerenciador de Dados (SGD) para montar uma matriz de dados contendo todas as informações existentes sobre o pavimento de cada segmento. Os cálculos foram realizados utilizando a Matriz de Dados previamente estruturada, organizada e armazenada no SGD (item V.2). O SGD calculou as médias dos demais parâmetros para cada segmento. Na Tabela 14 apresenta-se o modelo de matriz que foi confeccionada. Ressalta-se que na Matriz de Dados dos Segmentos Homogêneos consta uma quantidade significativa de informações necessárias para a alimentação do Sistema HDM-4 (*Highway Deveolpment and Management*), que será utilizado daqui em diante para elaboração de análises de desempenho dos pavimentos da Via040. A descrição de cada informação contida na Matriz de Dados dos Segmentos Homogêneos é apresentada no item V.2.

Tabela 14 - Modelo da Matriz de Dados dos Segmentos Homogêneos.

km INICIAL	km FINAL	UF	DATA	PISTA	"L" SEGMENTO (km)	LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO INFORMATIZADO PELO MÉTODO DA VARREDURA (CONDIÇÃO FUNCIONAL)																
						TR 2 (%)	TR 2 (m2)	TR 3 (%)	TR 3 (m2)	TR (%)	TR (m2)	Classe TR	AF LOC	AF TRIL	OND	PAN	EXUD	DESG	REM	ESC	QB	TB
0	2000	MG	2015	Simples	2,000	23,30%	16,33	0,00%	0,00	23,30%	16,33	Poor	0,00	0,64	0,37	0,01	0,06	0,37	0,89	1,91	0,00	0,00
2000	2620	MG	2015	Simples	0,620	14,20%	9,92	0,00%	0,00	14,20%	9,92	Fair	0,00	3,13	0,73	0,00	0,06	0,00	0,79	7,40	0,00	0,00
2620	3960	MG	2015	Simples	1,340	26,60%	18,67	0,00%	0,00	26,60%	18,67	Bad	0,00	0,43	0,13	0,00	0,00	0,07	0,16	2,94	0,00	0,00
3960	4700	MG	2015	Simples	0,740	25,40%	17,76	0,00%	0,00	25,40%	17,76	Bad	0,00	1,89	0,06	0,00	0,00	0,15	2,13	2,74	0,19	0,00
4700	5828	MG	2015	Simples	1,128	16,50%	11,53	0,00%	0,00	16,50%	11,53	Poor	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,08	0,14	1,26	0,00	0,00
5828	7380	MG	2015	Simples	1,552	4,20%	2,95	0,00%	0,00	4,20%	2,95	Good	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,35	0,12	0,06	0,00	0,00
7380	7800	MG	2015	Simples	0,420	5,90%	4,18	0,00%	0,00	5,90%	4,18	Fair	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,14	0,00	0,11	0,00	0,00
7800	9526	MG	2015	Simples	1,726	9,00%	6,33	0,00%	0,00	9,00%	6,33	Fair	0,00	0,00	0,11	0,00	0,13	0,16	0,00	0,75	0,00	0,00
9526	10140	MG	2015	Simples	0,614	20,30%	14,17	0,00%	0,00	20,30%	14,17	Poor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,36	0,00	0,00

ATR				DEFEITOS DE SUPERFÍCIE	BACIA DE DEFLEXÃO (CONDIÇÃO ESTRUTURAL)								
ATR INT.	ATR EXT.	ATR Méd	Classe ATR		D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	SNP	Resistência do Pavimento
1,7	1,7	1,7	New	New	27,6	19,3	15,9	12,4	10,3	6,9	4,6	7,2	Good
2,5	2,1	2,3	Good	Good	21,7	14,1	11,6	9,1	7,4	5,0	3,3	8,4	Good
1,8	1,2	1,5	New	New	20,5	13,4	10,4	7,6	6,1	4,0	2,6	8,7	Good
4,6	0,2	2,4	Good	Good	24,6	15,3	11,4	7,8	6,1	3,9	2,7	7,7	Good
4,9	0,1	2,5	Good	Good	26,7	17,9	14,0	9,6	7,1	3,7	2,2	7,4	Good
1,8	1,0	1,4	New	New	17,4	11,2	8,8	6,3	4,9	3,0	1,9	9,6	Good
4,5	0,1	2,3	Good	Good	17,4	10,5	8,4	5,9	4,4	2,7	1,5	9,6	Good
2,9	0,5	1,7	New	New	18,5	12,0	9,3	6,7	5,1	3,2	2,1	9,3	Good
2,7	2,3	2,5	Good	Good	32,9	23,4	19,1	14,3	11,0	6,4	4,3	6,4	Good

IRI (CONFORTO)				ESTRUTURA DO PAVIMENTO (LEV. GPR)						COMPACTAÇÃO RELATIVA (%)	QUALIDADE DA CONSTRUÇÃO	Surface Texture		
IRI esq	IRI dir	IRI méd	Qualidade ao Rolamento	CA	C2	C3	C4	C5	Z Subleito			HS	VRD	Classe
2,8	2,9	2,9	Fair	14,4	40,0	6,2	0,0	0,0	60,4	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,7	2,9	2,8	Fair	17,6	33,1	9,0	0,0	0,0	59,7	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,7	2,4	2,6	Fair	18,5	25,5	24,9	0,0	0,0	69,0	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,9	2,7	2,8	Fair	16,0	30,7	25,9	0,0	0,0	72,6	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,0	2,0	2,0	Fair	14,2	40,7	6,1	0,0	0,0	60,9	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,0	1,9	2,0	Good	15,6	25,6	0,0	0,0	0,0	41,2	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,1	1,8	2,0	Good	14,7	25,3	0,0	0,0	0,0	40,0	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,2	2,0	2,1	Fair	15,9	31,5	14,0	0,0	0,0	61,4	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom
2,7	2,2	2,5	Fair	18,5	28,1	25,0	0,0	0,0	71,3	97,0%	Good	0,7	0,5	Bom

CONTAGEM DE TRÁFEGO																							
Motos	Motos%	Auto	Auto%	Auto+1e	Auto+1e%	2C	2C%	2S1	2S1%	3C	3C%	2S2	2S2%	3S1	3S1%	2I3	2I3%	3S3	3S3%	3D4	3D4%	3T6	3T6%	%
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	100,00%
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	100,00%
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	100,00%
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	100,00%
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	100,00%
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	100,00%
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	100,00%
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	100,00%
25,57	1,37%	1154,21	61,83%	24,29	1,30%	169,00	9,05%	133,29	7,14%	6,36	0,34%	20,93	1,12%	55,43	2,97%	69,29	3,71%	126,93	6,80%	67,79	3,63%	13,64	0,73%	100,00%

VOLUME MÉDIO DIÁRIO (VMD)						PROGRESSÃO DO TRÁFEGO			IGH	IGV		GEOMETRIA HORIZONTAL	GEOMETRIA VERTICAL	CLASSE GEOMETRIA DA RODOVIA
Moto	Auto	Leve	Pesado	VDM eq	Volume de Tráfego AADT	N (2015)	N (2020)	N (2025)		m/km	N/km			
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado
25,57	1178,50	323,21	339,43	2503,79	Medium	1552528	1579888	1607730	17,47	21,73	1,14	Pouco Sinuosa	Suavemente Ondulado	Pouco Sinuosa e Suavemente Ondulado

CONDIÇÃO DE DRENAGEM	COORDENADAS			GEOMORFOLOGIA	CLIMA
	LAT	LONG	Z		
BOA	-17,0390	-47,1520	822,9520	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0440	-47,1420	865,2710	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
REGULAR	-17,0500	-47,1350	891,8210	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
REGULAR	-17,0570	-47,1290	906,7220	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0620	-47,1220	910,8210	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0680	-47,1110	914,5420	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0710	-47,1020	917,3890	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0690	-47,0930	920,6930	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)
BOA	-17,0680	-47,0820	934,5240	PLANALTO DO DISTRITO FEDERAL	Semiúmido com 4 a 5 meses secos (Subquente - média entre 15° e 18° C em pelo menos 1 mês)

VI.11 - DEFINIÇÃO DAS UNIDADES DE AMOSTRAGEM UAS

As Unidades de Amostragem (UAs) são trechos considerados representativos das características e condições de um conjunto de segmentos homogêneos, que servem para melhorar o nível de compreensão do comportamento do pavimento e, por consequência, calibrar os modelos de previsão de desempenho do HDM-4. Através de uma UA será possível acompanhar a evolução de suas condições funcionais e estruturais ao longo do tempo, havendo uma melhor compreensão dos comportamentos e desempenhos dos pavimentos da Via040. Nas UAs serão realizados ensaios e monitorações para obtenção de dados necessários para elaboração de análises do comportamento e desempenho do pavimento.

Para que os modelos forneçam respostas consistentes com aquelas observadas em campo são necessários pelo menos cinco anos para montar um banco de dados com informações suficientes para calibrar ou até mesmo propor modelos de previsão de desempenho. Assim, o foco dessa etapa da pesquisa, primeiro ano, é a definição de segmentos representativos das condições de parte dos pavimentos da Via040, nos quais serão concentrados os esforços de pesquisa, envolvendo a realização de monitorações e ensaios de campo e laboratoriais. Os estudos serão aprimorados com o tempo, em função da quantidade e qualidade das informações, proporcionando uma melhor compreensão dos mecanismos de deterioração dos pavimentos.

Considerando o tráfego como um dos parâmetros iniciais da hierarquia adotada para a segmentação, tem-se que seriam necessárias no mínimo 20 UAs. O número de UAs poderia ser maior que o apresentado no Plano de Trabalho, entretanto, até o final da primeira etapa da pesquisa (abril/2016), limitou-se a uma quantidade de 10 UAs para que seja possível realizar os ensaios de campo e laboratório necessários para as análises, sem comprometer a qualidade das informações e do programa de capacitação técnica. Visto que 10 UAs não são suficientes para representação dos segmentos da Via040, a partir de 2016 serão implantadas novas UAs, com base nas análises do SGD e nas análises com uso de SIG. Os resultados das monitorações posteriores serão utilizados para verificar se realmente as curvas de desempenho refletem o comportamento dos pavimentos avaliados.

As UAs foram definidas seguindo a mesma linha de raciocínio de Kohler *et al.*, 2006 e Albuquerque (2007), a qual faz hierarquização das características e condições da rodovia. A definição das UAs foi realizada através da aplicação do critério de hierarquia na seguinte ordem: Unidade de Federação → Região Climática → Geomorfologia → Tráfego → Deflexão → Trincamento → Estrutura do Pavimento → Afundamento de Trilha de Roda → Irregularidade Longitudinal (IRI).

A determinação das UAs foi realizada com auxílio do SGD, executando a função de filtro na Matriz dos Segmentos Homogêneos. Para tanto foram estabelecidas classes para os parâmetros que refletem os mecanismos de deterioração dos pavimentos (Tabelas 15 a 19) – Deflexão, Trincamento, Afundamento de Trilha de Roda, Irregularidade Longitudinal e espessura da

camada de revestimento. As classes foram definidas em conformidade com o recomendado pelos manuais do HDM-4 e do DNIT (IPR-745, 2011) – Tabelas 20 a 22. Buscou-se UAs que pudessem representar o máximo de Segmentos Homogêneos da Via040. Outro critério, de ordem prática, refere-se à segurança da equipe técnica e do tráfego nas proximidades de cada UA. Privilegiou-se a locação de UAs em trechos da rodovia em tangente com boa visibilidade para os usuários nos dois sentidos. Também é previsto a materialização de cada UA por meio de marcações com tinta no pavimento e placas de sinalização.

Tabela 15 – Classes de Deflexão.

Deflexão Máxima
Do ≤ 50 - Ótimo
50 < Do ≤ 70 - Bom
70 < Do ≤ 100 - Regular
Do > 100 - Ruim

Tabela 16 – Classes de Trincamento.

Trincamento
TR = 0% - Ótimo
0 < TR < 5% - Bom
5% ≤ TR < 25% - Regular
25% ≤ TR < 35% - Ruim
TR ≥ 35% - Péssimo

Tabela 17 – Classes de Irregularidade Longitudinal.

IRI
IRI < 3 - Bom
3 ≤ IRI < 4 - Regular
4 ≤ IRI < 5,5 - Ruim
IRI ≥ 5,5 - Péssimo

Tabela 18 – Classes de Afundamento de Trilha de Roda.

ATR
0 ≤ ATR < 2 - Ótimo
2 ≤ ATR < 5 - Bom
5 ≤ ATR < 15 - Regular
15 ≤ ATR < 25 - Ruim
ATR ≥ 25 - Péssimo

Tabela 19 – Classes de espessuras do pavimento com revestimento em concreto asfáltico.

Espessura CA
CA ≤10
10 < CA ≤ 15
15 < CA ≤ 20
CA > 20

Tabela 20 – Classes de Irregularidade Longitudinal definidas no HDM-4 e DNIT (IPR-745, 2011) para qualificar a qualidade ao rolamento da superfície do pavimento.

Classe da Rodovia	Referência	Bom	Regular	Ruim	Péssimo
Principal ou tronco	HDM-4	IRI < 3	3 ≤ IRI < 5	5 ≤ IRI < 7	IRI ≥ 7
	DNIT (IPR-745)	IRI < 3	3 ≤ IRI < 4	4 ≤ IRI < 5,5	IRI ≥ 5,5

Tabela 21 – Classes de trincamento definidas pelo modelo HDM-4.

Classes de Trincamento (%)				
Ótimo	**Bom**	**Regular**	**Ruim**	**Péssimo**
TR = 0	0 < TR < 5	5 ≤ TR < 25	25 ≤ TR < 35	TR ≥ 35

Tabela 22 – Classes de Suficiência Estrutural do Pavimento definidas pelo HDM-4 pelo Número Estrutural SNC comparadas com os respectivos valores de deflexão.

Número Estrutural SNC x Deflexão (Classes HDM-4)				
Parâmetro	**Bom**	**Regular**	**Ruim**	**Péssimo**
SNP	SNP ≥ 5	4 ≤ SNP < 5	3 ≤ SNP < 4	SNP < 3
Do	Do ≤ 50	50 < Do ≤ 70	70 < Do ≤ 110	Do > 110

No HDM-4 a suficiência estrutural é definida pelo Número Estrutural SNC. Para comparar com as classes definidas no estudo de definição das UAs, o SNC foi transformado em valor de deflexão (0,01 mm), conforme apresentado na Tabela 22.

A seguir é apresentada memória de cálculo do estudo para definição das Unidades de Amostragem (UAs) com base nas classes e cores definidas nas Tabelas 15 a 19. Com uso do recurso de filtro do SGD foram definidas as UAs.

VI.11.1 – ABRANGÊNCIA DAS UNIDADES DE AMOSTRAGEM

Para definição das Unidades de Amostragem foram realizadas análises para verificar a abrangência das mesmas. Buscou-se UAs que pudessem representar um somatório de extensão e número significativos de Segmentos Homogêneos com as mesmas características físicas, representadas pelos parâmetros Deflexão, Trincamento, Afundamento de Trilha de Roda, Irregularidade Longitudinal e espessura do CA. As análises foram realizadas por compartimento geomorfológico, sendo desprezado o tráfego. A lista dos segmentos nos quais estão contidas as UAs é apresentada na Tabela 23. Nas Figuras 33 a 42 são apresentadas as fotos das Unidades de Amostragem UAs selecionadas e suas respectivas localização em relação aos marcos quilométricos.

Tabela 23 – Lista dos Segmentos Homogêneos nos quais as Unidades de Amostragem (UAs) estão inseridas.

UA	km i	km f	UF	L (km)	Do (0,01mm)		TR (%)		Esp. CA (cm)		ATR (mm)		IRI (m/km)		Compartimento Geomorfológico
					Valor	Classe	Valor	Classe	Valor	Classe	Valor	Classe	Valor	Classe	
UA01	93,25	99,8	GO	6,55	30,3	Do≤50	6,80	5≤TR<25	12,8	10<CA≤15	0,84	0≤ATR<2	1,9	IRI<3	Planalto
UA02	51,6	54,3	MG	2,70	9,1	Do≤50	5,60	5≤TR<25	18,2	15<CA≤20	1,54	0≤ATR<2	2,0	IRI<3	Patamares Rio São Francisco / Tocantins
UA03	148,98	155,25	MG	6,27	15,3	Do≤50	12,40	5≤TR<25	17,4	15<CA≤20	3,07	2≤ATR<5	2,0	IRI<3	
UA04	257,82	264,12	MG	6,30	22,4	Do≤50	6,90	5≤TR<25	18,8	15<CA≤20	2,78	2≤ATR<5	2,1	IRI<3	
UA05	350,82	355,84	MG	5,02	37,3	Do≤50	9,90	5≤TR<25	20,7	CA>20	2,09	2≤ATR<5	1,7	IRI<3	Depressões e Chapadas São Franscisco/BH
UA06	405	407,2	MG	2,20	38,0	Do≤50	16,50	5≤TR<25	16,2	15<CA≤20	2,28	2≤ATR<5	3,3	3≤IRI<4	
UA07	568,45	576,25	MG	7,80	32,6	Do≤50	31,70	25≤TR<35	13,1	10<CA≤15	0,61	0≤ATR<2	1,5	IRI<3	Quadrilátero Ferrífero
UA08	644,55	646,55	MG	2,00	49,1	Do≤50	11,60	5≤TR<25	8,5	CA≤10	0,73	0≤ATR<2	1,7	IRI<3	
UA09	705,89	709,4	MG	3,51	30,0	Do≤50	6,80	5≤TR<25	18,7	15<CA≤20	1,75	0≤ATR<2	2,6	IRI<3	Campo das Vertentes
UA10	766,5	769,7	MG	3,20	103,7	Do>100	17,60	5≤TR<25	11,7	10<CA≤15	0,88	0≤ATR<2	2,5	IRI<3	



Figura 33 – Unidade de Amostragem UA01 (km 97+625, UF: GO).



Figura 34 – Unidade de Amostragem UA02 (km 52+065, UF: MG).



Figura 35 – Unidade de Amostragem UA03 (km 153+250, UF: MG).



Figura 36 – Unidade de Amostragem UA04 (km 260+470, UF: MG)



Figura 37 – Unidade de Amostragem UA05 (km 352+550 UF: MG).



Figura 38 – Unidade de Amostragem UA06 (km 407+650, UF: MG).



Figura 39 – Unidade de Amostragem UA07 (km574+600, UF: MG).



Figura 40 – Unidade de Amostragem UA08 (km 644+770, UF: MG).



Figura 41 – Unidade de Amostragem UA09 (km 708+650, UF: MG).

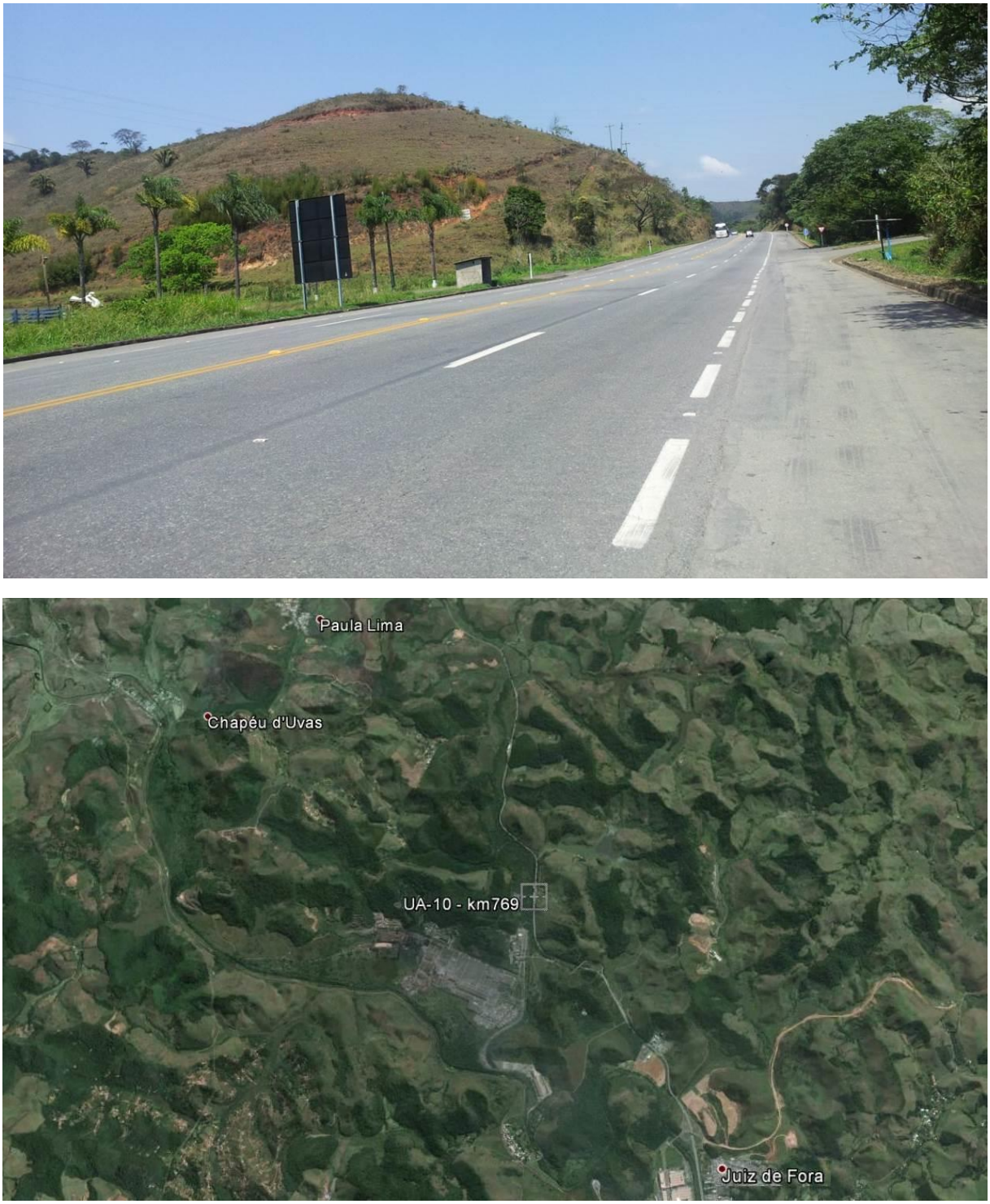


Figura 42 – Unidade de Amostragem UA10 (km 769+000, UF: MG).

Na Tabela 24 apresenta-se um resumo com a localização das Unidades de Amostragem (UAs) e os valores médios dos parâmetros Deflexão, Trincamento, Espessura da Camada de Revestimento (concreto asfáltico), Afundamento de Trilha de Roda e Irregularidade Longitudinal.

Tabela 24 – Lista das Unidades de Amostragem (UAs).

UA	km	UF	Do (0,01mm)	TR (%)	Esp. CA (cm)	ATR (mm)	IRI (m/km)	Compartimento Geomorfológico
UA01	97,625	GO	30,3	6,80	12,8	0,84	1,9	Planalto
UA02	52,065	MG	9,1	5,60	18,2	1,54	2,0	Patamares Rio São Francisco / Tocantins
UA03	153,25	MG	15,3	12,40	17,4	3,07	2,0	
UA04	260,47	MG	22,4	6,90	18,8	2,78	2,1	
UA05	352,55	MG	37,3	9,90	20,7	2,09	1,7	Depressões e Chapadas São Franscisco/BH
UA06	407,65	MG	38,0	16,50	16,2	2,28	3,3	
UA07	574,6	MG	32,6	31,70	13,1	0,61	1,5	Quadrilátero Ferrífero
UA08	644,77	MG	49,1	11,60	8,5	0,73	1,7	
UA09	708,65	MG	30,0	6,80	18,7	1,75	2,6	Campo das Vertentes
UA10	769	MG	103,7	17,60	11,7	0,88	2,5	

O resumo dos resultados dos Estudos de Abrangência é apresentado na Tabela 25. Para verificar a abrangência da UA, desconsiderou-se o ATR, IRI e espessura de CA. O valor correto da espessura do revestimento asfáltico depende de uma calibração do GPR, cuja quantidade de amostragem pode não ter sido suficiente para utilizar como referência. O Afundamento de Trilha de Roda (ATR), que representa a fase plástica do pavimento, pode ter o valor falseado em função de um escorregamento de massa que refletiria um valor que não representaria a deformação permanente das trilhas de roda dos pavimentos. A Irregularidade Longitudinal (IRI) é um parâmetro que reflete a condição funcional mais relacionada à qualidade ao rolamento, ou seja, ao conforto ao usuário e, por vezes, não tem relação com os mecanismos que conduzirão a falência do pavimento. A deflexão refere-se à resposta estrutural do pavimento frente a ação do tráfego e serve de referência para estimar os módulos de resiliência das camadas dos pavimentos. O trincamento cuja área foi levantada de forma contínua é um parâmetro que permite avaliar o grau de evolução do processo de deterioração do pavimento, refletindo, até certo nível, a fase elástica do pavimento. Pelas razões explicitadas, o estudo de abrangência, elaborado com base na

Deflexão e Trincamento, pode ser considerado adequado para avaliar quais segmentos podem ser representados pelas UAs selecionadas.

Tabela 25 – Análise de abrangência das Unidades de Amostragem (UAs).

UA	km	UF	Abrangência					Compatibilidade UA x SH			
			Identificação Geomorfológica	Limites Geomorfológicos				Nº Segmentos		Ext. Segmentos	
				km i	km f	N. Seg	L (km)	Quant.	%	L (km)	%
UA01	97,625	GO	Planalto	0 (DF)	22 (MG)	169	187,7	46	27,22%	55,05	29,49%
UA02	52,065	MG	Patamares Rio São Francisco/Tocantins	22 (MG)	270	154	248,0	71	46,10%	126,46	50,85%
UA03	153,25	MG									
UA04	260,47	MG									
UA05	352,55	MG	Depressões e Chapadas São Franscisco/BH	270	550	175	280,0	90	51,43%	144,07	51,86%
UA06	407,65	MG									
UA07	574,6	MG	Quadrilátero Ferrífero	550	651	66	101,0	10	15,15%	26,95	26,08%
UA08	644,77	MG						28	42,42%	39,75	38,46%
UA09	708,65	MG	Campo das Vertentes	651	773	70	122,0	37	52,86%	54,62	45,18%
UA10	769	MG						3	4,29%	9,40	7,78%

Os resultados apresentados na Tabela 25 revelam que as Unidades de Amostragem (UAs) representam uma quantidade e extensão significativa de Segmentos Homogêneos (SHs). Serão nessas UAs que os estudos e ensaios serão elaborados de forma mais intensa. A seguir apresentam-se as análises realizadas para verificar a abrangência de cada UAs em relação aos Segmentos Homogêneos.

VI.12 - BASE GEORREFERENCIADA DO EIXO DA RODOVIA E SEÇÕES DE TERRAPLENAGEM

Foram realizados levantamentos com uso de Global Position System (GPS) da diretriz em planta e do perfil longitudinal da Via040 para determinação dos Índices de Geometria Horizontal (IGH) e Vertical (IGV). Foi feito o tratamento dos levantamentos dos traçados horizontal para elaboração dos desenhos gráficos da diretriz em planta estaqueada com os marcos quilométricos. Para tanto, também foram registradas as posições geográficas das placas com os quilômetros da rodovia. Como alguns problemas no pavimento também têm relação com a sua seção de terraplenagem, torna-se importante definir as seções de corte pleno, meia-encosta, corpo de aterro, greide colado, nivelado e obra de arte especial. As seções são apresentadas na diretriz em

planta representadas por *polylines* paralelas ao eixo estaqueado. Como resultado tem-se uma base gráfica georreferenciada da rodovia (Base Espacial) que poderá ser alimentada com as localizações das UAs, pontos de retiradas de amostras para realização de ensaios e outros dados que sejam importantes materializar na base.

Uma aplicação direta do georrefenciamento do eixo da Via040 pode ser vista na Figura 43, na qual através de uso de um SIG foi realizada uma análise da condição de deterioração dos pavimentos, integrando diferentes parâmetros de suas condições funcional e estrutural. A ferramenta SIG foi utilizada em um trecho da Via040 para combinar os mapas temáticos trincamento (TR), irregularidade (IRI), afundamento de trilha de roda (ATR) e deflexão máxima (Do) utilizando um modelo de cálculo para produzir o Mapa de Deterioração do Pavimento, que pode ser visualizado sobre a imagem de satélite do programa Google Earth em diferentes ângulos. As análises elaboradas com base nessa solução tecnológica fornecem subsídios para tomadas de decisão, definição de segmentos homogêneos (SHs) e unidades de amostragem (UAs) e uma melhor compreensão do comportamento e desempenho dos pavimentos da Via040.

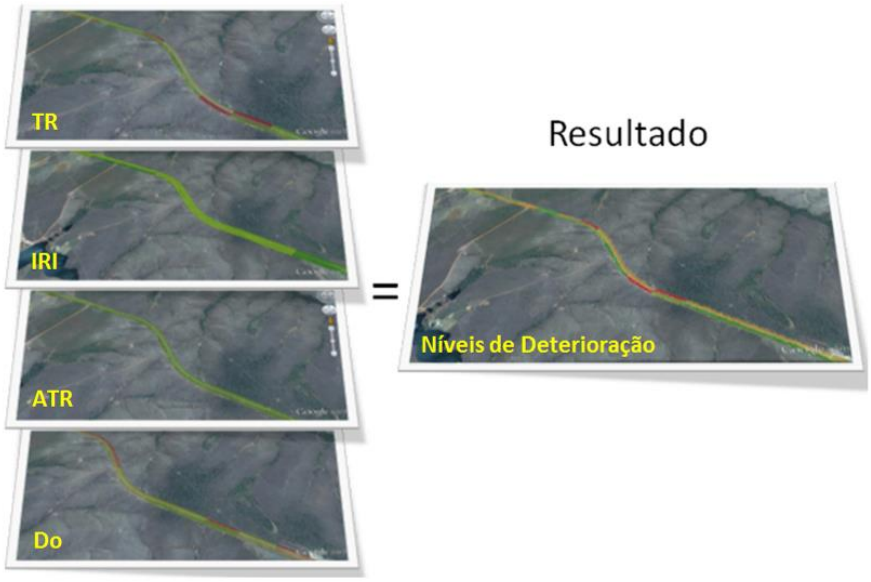


Figura 43 – Análises de deterioração dos pavimentos com uso de SIG.

VI.13 - ÍNDICES DE GEOMETRIA DA RODOVIA

Com base nos levantamentos georreferenciados da diretriz em planta e do perfil longitudinal da Via040 foram determinados os Índices de Geometria Horizontal (IGH) e Vertical (IGV). Esses Índices são importantes para definir os trechos em tangente, sinuosos, em nível (ou planos), ondulados e outros, conforme solicitado nos dados de entrada do HDM-4. Nas Tabelas 26 e 27 são apresentados os limites estabelecidos pelo HDM-4 para definir o tipo de geometria da rodovia a partir do IGH e IGV. A classificação do HDM-4 á definida de acordo com a

combinação dos alinhamentos vertical e horizontal e variam desde trechos com características mais suaves e planas até sinuosas e onduladas. As variáveis relacionadas aos aspectos geométricos das rodovias consideradas no modelo HDM-4 e que influenciam nos resultados são: média de subidas e descidas; média da curvatura horizontal; e limite de velocidade do trecho em análise.

Tabela 26 – Classificação da geometria em função do IGH prevista no HDM-4.

Classe da Geometria	Curvatura Horizontal (°/km)	Superelevação (%)	Velocidade Limite (km/h)
Tangente e em nível	3,0	2,0	110
Maior parte tangente e suavemente ondulado	15,0	2,5	100
Curva e geralmente em nível	50,0	2,5	100
Curva com suaves ondulações	75,0	3,0	80
Curva com fortes ondulações	150,0	5,0	70
Sinuosa e suavemente ondulada	300,0	5,0	60
Sinuosa com muitas ondulações	500,0	7,0	50

Tabela 27 – Classificação da geometria em função do IGV prevista no HDM-4.

Classe da Geometria	Subida + Descida (m/km)	Número de Subida e Descida por km
Tangente e em nível	1,0	1,0
Maior parte tangente e suavemente ondulado	10,0	2,0
Curva e geralmente em nível	3,0	2,0
Curva com suaves ondulações	15,0	2,0
Curva com fortes ondulações	25,0	3,0
Sinuosa e suavemente ondulada	20,0	3,0
Sinuosa com muitas ondulações	40,0	4,0

VI.13.1 - ÍNDICE DE GEOMETRIA VERTICAL

O Índice de Geometria Vertical (IGV), a média de subidas e descidas, é obtido pelo somatório das distâncias entre os pontos de máxima e mínima cota do perfil longitudinal (pontos altos e baixos do greide da rodovia), dividido pela extensão total do trecho considerado (Figura 44). Deve-se determinar também o número de subidas e descidas por quilômetro.

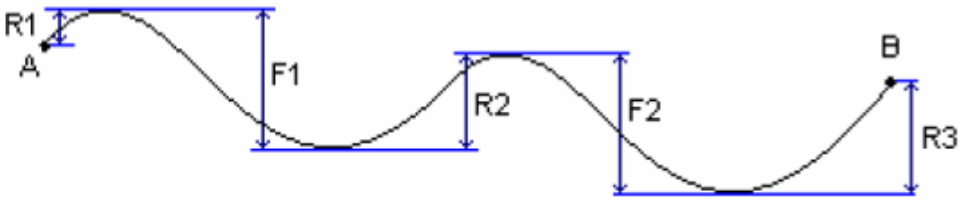


Figura 44 – Representação das subidas e descidas ao longo de um trecho (Klein, 2005).

$$IGV = \frac{R_1 + F_1 + R_2 + F_2 + R_3}{L_{Total}}$$

Onde:

IGV: Índice de Geometria Vertical (média das subidas e descidas – m/km);
R_n: distância vertical entre os pontos de mínima e de máxima cotas de duas curvas verticais adjacentes (m);
F_n: distância vertical entre os pontos de máxima e de mínima cotas de duas curvas verticais adjacentes (m); e
L_{Total}: comprimento total do trecho (km).

VI.13.2 - ÍNDICE DE GEOMETRIA HORIZONTAL

O Índice de Geometria Horizontal (IGH), média da curvatura horizontal, é o somatório dos ângulos centrais (AC) das curvas horizontais dividido pelo comprimento total do trecho (Figura 45).

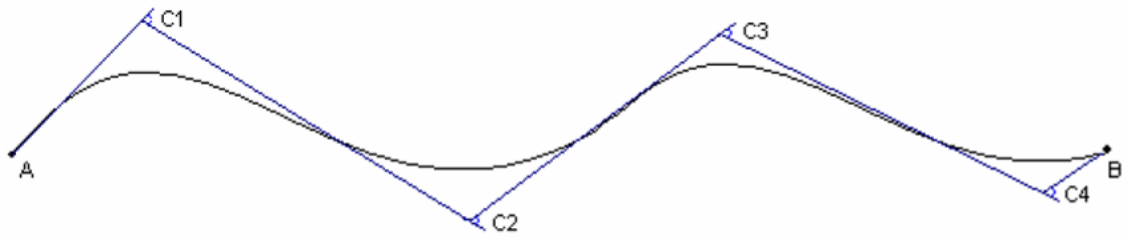


Figura 45 – Representação dos ângulos centrais ao longo de um determinado trecho de rodovia (Klein, 2005).

$$IGH = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}{L_{Total}}$$

Onde:

IGH: Índice de Geometria Horizontal (IGH), curvatura horizontal média (°/km);
C_n: ângulos centrais das curvas horizontais (°); e
L_{Total}: comprimento total do trecho (km).

Os índices IGH e IGV foram calculados por segmentos coincidentes com a compartimentação geomorfológica. A Tabela 28 apresenta o resumo dos resultados dos Índices de Geometria Horizontal e Vertical da Via040 por compartimento geomorfológico. No relatório RT-02 foram apresentadas as memórias de cálculo para determinação dos Índices de Geometria Horizontal e Vertical da Via040.

Tabela 28 – Índices de Geometria Horizontal (IGH) e Vertical (IGV) por compartimento geomorfológico da Via040.

Quilometro Inicial	Quilometro Final	UF	L (km)	IGV (m/km)	N. Subidas e Descidas	IGH (°/km)
0,0	8,4	DF	8,40	4,76	0,36	
0,0	98,0	GO	98,00	19,70	0,67	13,72
98,0	157,4	GO	59,40	19,98	0,84	14,44
0,0	22,0	MG	22,00	21,73	1,14	17,47
22,0	30,0	MG	8,00	132,00	0,88	18,93
30,0	40,0	MG	10,00	121,40	0,50	38,15
40,0	67,0	MG	27,00	50,63	1,11	16,13
67,0	90,0	MG	23,00	42,00	1,26	5,32
90,0	93,0	MG	3,00	190,33	1,33	8,15
93,0	142,0	MG	49,00	23,67	1,12	9,67
142,0	160,0	MG	18,00	65,22	0,94	13,94
160,0	240,0	MG	80,00	38,40	1,60	20,04
240,0	270,0	MG	30,00	60,10	1,17	35,40
270,0	287,0	MG	17,00	64,35	1,24	17,60
287,0	335,0	MG	48,00	47,52	1,65	17,22
335,0	479,0	MG	144,00	30,99	1,60	13,73
479,0	550,0	MG	71,00	39,90	1,03	38,88
550,0	565,0	MG	15,00	112,47	0,93	26,62
565,0	600,0	MG	35,00	71,89	1,11	50,85
600,0	611,0	MG	11,00	130,73	1,82	58,47
611,0	651,0	MG	40,00	28,00	2,30	53,33
651,0	697,0	MG	46,00	48,11	1,61	59,22
697,0	704,0	MG	7,00	186,57	1,86	57,49
704,0	773,0	MG	69,00	26,87	2,00	106,82

VI.14 - SISTEMA HDM-4 (*HIGHWAY DEVELOPMENT AND MANAGEMENT*)

Previsão de Desempenho dos Pavimentos

Na pesquisa de RDT será utilizado o Modelo HDM-4 (*Highway Development and Management*), desenvolvido pelo Banco Mundial, que já vem sendo usado há mais de duas décadas, combinando a avaliação técnica e econômica nas redes de rodovias. É uma ferramenta em ambiente *Windows* que supera as avaliações tradicionais de projetos, proporcionando um potente sistema para análises de gestão de rodovias e das alternativas de investimento.

O sistema de projeto é modular, com uma interface integrada entre os módulos. O sistema modular possibilita aos usuários a substituição de modelos técnicos inadequados por seus próprios modelos. Dentre os modelos do HDM-4 será concentrado esforços de trabalhos e pesquisas nos Modelos de Deterioração de Pavimentos A estrutura do HDM-4 é apresentada na Figura 46.

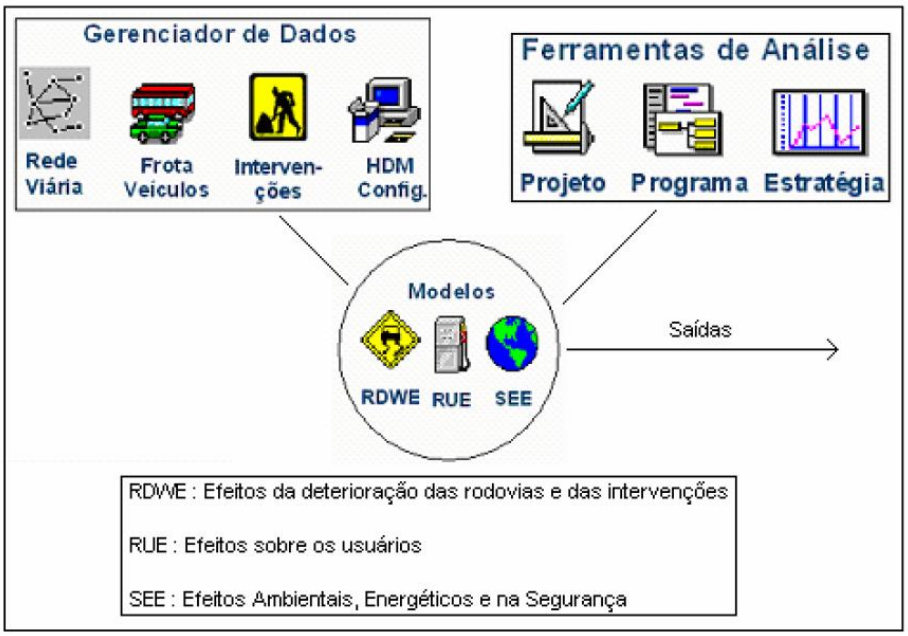


Figura 46 – Estrutura esquemática do HDM-4 (Kerali *et al*., 2000).

O HDM-4 é muito eficiente quando calibrado de acordo com o comportamento do pavimento frente às ações do tráfego e clima. As previsões de desempenhos dos pavimentos refletem com mais precisão as condições funcionais e estruturais dos pavimentos ao longo do tempo. As equações de desempenho no HDM-4 têm fatores de calibração que podem ser ajustados para reproduzirem as condições locais. É neste contexto que a Via040 pretende melhorar a precisão da aplicação do HDM-4, para que as tomadas de decisão sejam mais racionais. Tal visa atingir as metas de sustentabilidade - aplicação de recursos humanos e financeiros e matérias primas em quantidade adequadas, evitando esforços desnecessários e impactos ambientais. Previsões de

desempenho adequadas levarão a diagnósticos futuros acurados e desta forma, alocações de recursos mais confiáveis e estritamente necessários.

Os cenários de desempenho dos pavimentos referem-se à evolução dos parâmetros das condições funcional e estrutural dos pavimentos ao longo do tempo de cada Unidade de Amostragem (UA), conforme as equações do modelo HDM-4. A quantidade mínima de cenários de desempenho dos pavimentos será igual ao número de Unidades de Amostragem (UAs) materializadas na rodovia. Conforme discutido no item V.4 (Unidades de Amostragem), limita-se uma quantidade de 10 UAs para que seja possível realizar os ensaios de campo e laboratório, sem comprometer a qualidade das informações e do programa de capacitação técnica.

As Ferramentas de Análise do HDM-4 englobam três tipos de aplicações, que são projeto, programa e estratégia. As análises de projetos são realizadas quando se deseja analisar questões pontuais da rede, por exemplo, relacionados a apenas uma seção. As análises de programa são mais genéricas que as análises de projeto, lidando principalmente com a priorização de uma lista de possíveis projetos. Por último temos as análises de estratégias, que são utilizadas para traçar políticas de planejamento estratégico de médio e longo prazo, frequentemente envolvendo a rede viária como um todo.

A Tabela 29, apresentado por Srsen e Krsic (2001), resume a estrutura do programa. No presente projeto de RDT o enfoque será dado aos Modelos de Deterioração de Pavimentos.

Tabela 29 - Estrutura do HDM-4 (Srsen e Krsic, 2001).

Dados de Entrada	Submodelo	Dados de Saída
Tipo de veículo, volume de tráfego, geometria do pavimento, clima, custos, etc.	Início do ciclo de análises	
Tipos de pavimentos, parâmetros de resistência e deformabilidade do pavimento, idade e condições atuais, eixo padrão, etc.	Modelos de deteriorização de pavimentos	Dados sobre trincas, geometria, panelas, perda de material, afundamentos, espessura do revestimento.
Geometria do pavimento e planimetria, velocidade dos veículos, parâmetros de congestionamento do tráfego, custos, etc.	Modelos dos efeitos no usuário	Consumo de pneu, combustível e peças. Custos de manutenção dos veículos, tempo de viagem, velocidade média, etc.
Estratégias de trabalho de manutenção e reabilitação dos pavimentos	Modelos dos efeitos dos trabalhos realizados	Reparação de trincas, panelas, etc. Espessura do revestimento, custos de administração.
Geometria do pavimento, condições de superfície, características dos veículos.	Modelos dos efeitos sócio-econômicos e sobre o meio ambiente	Nível de emissão de poluentes, energia consumida, número de acidentes – tráfego.
Custos e benefícios em termos de desenvolvimento da malha, acidentes, meio ambiente, etc.	Ferramentas de análises econômicas	Custos e benefícios
	Volta ao início do ciclo de análises	Custo total por componente. Valor Presente Líquido e parcelas de retorno por seção.

O processo de aquisição das licenças do software HDM-4 foi iniciado no mês de Junho quando foi aberta a Requisição de Compra no sistema interno da Via040. O trâmite para a aquisição foi demorado, visto que a empresa fornecedora do *software* não possui filial no Brasil, sendo necessário fazer a importação do HDM-4. O processo está em finalização, o *invoice* foi encaminhado para pagamento junto ao setor competente. Até dia 15 de outubro será concluída a operação.

VI.14.1 - CURSO HDM-4, FASE 1 (NÍVEL BÁSICO)

Além dos cursos para realização dos ensaios de laboratório e campo, os estagiários participaram dos cursos sobre o modelo de previsão de desempenho HDM-4, objetivando a manipulação do *software* para realização das análises acerca dos modelos de previsão de desempenho dos pavimentos e do ajuste/calibração das equações. São previstos 2 cursos, cada um com uma semana de duração. Um a nível básico (Fase 1) e outro, a nível avançado (Fase 2). No nível avançado será abordado o módulo de calibração dos modelos de previsão de desempenho do pavimento do HDM-4. Os cursos cobrirão os seguintes tópicos:

Fase 1 (Nível Básico)

- Visão geral do HDM-4
- Estrutura de Modelagem
- Configurações
- Malhas rodoviárias
- Montagem das Frotas de Veículos
- Políticas de Manutenção
- Montagem das Análises
- Análise de Projetos
- Análise de Programas
- Análise de Estratégias
- Modelos de Deterioração de Estradas e Efeitos de Obras
- Análise crítica dos resultados

Fase 2 (Nível Avançado)

Abordagem básica:

- Modelos de Efeitos de Usuários de Estradas
- Balanço energético
- Emissões de Veículos
- Análise Econômica
- Análise de Sensitividade
- Análise de Multi-Critérios

- Valorização de Ativos

Foco da Fase 2:

- Calibração dos modelos do HDM-4

O Curso HDM-4 a Nível Básico (Fase 1) foi dividido em duas etapas. A primeira foi realizada na sede da ENGGEOTECH, empresa responsável pelas análises dos cenários de desempenho dos pavimentos do presente projeto de RDT. O curso foi ministrado pelo engenheiro Rafael Cerqueira Silva, contando com o apoio do analista de sistemas da ENGGEOTECH, Evandro Machado Neto.

. A segunda etapa ocorreu entre os dias 26 a 30 de outubro na sede da Via040, com a participação da equipe técnica envolvida no projeto de RDT:

- Estagiários:

Ana Carolina Sousa Colini;

Aline Ferreira Andalicio;

Bruno Oliveira da Silva;

Jéssika Miranda Santos;

Fernanda Taysa de Castro Morais; e

Rodolfo César Costa Arantes

- Engenheiros:

Diego Dias Muniz;

Celso Luiz dos Santos Romeiro Junior; e

Mariana Maia Ribeiro Silva.

No Curso Fase 1 as análises no HDM-4 foram desenvolvidas utilizando a base de dados obtida nos trabalhos do primeiro e segundo trimestre do presente projeto de RDT. No curso foram realizados trabalhos práticos voltados para a realidade da Via040 dentro do contexto do projeto de RDT. A malha rodoviária montada no HDM-4 foi composta pelas 10 Unidades de Amostragem (UAs). Os parâmetros que refletem as condições funcional, estrutural e de segurança de cada UA foram inseridos no sistema em conformidade com os dados do Relatório Trimestral 02 (RT-02) do RDT. A montagem da composição da frota de veículos foi resultante dos resultados das contagem volumétricas classificatórias e pesagens (RT-01). Foram adotadas e simuladas as políticas de manutenção comumente aplicadas nos pavimentos da Via040. As configurações obedeceram as características da rodovia, em particular o tipo de clima. Discutiu-se sobre os resultados da evolução dos parâmetros ao longo do tempo (tabelas e gráficos), considerando as políticas de manutenção. Visto que o entendimento do funcionamento e dos

modelos do HDM-4 depende do estudo de 7 volumes (Figura 47), as análises críticas aliadas ao domínio básico do uso do sistema proporcionaram condições dos participantes do curso de avançar os estudos sobre o HDM-4. Recomenda-se que a Fase 2 (Nível Avançado do HDM-4, com ênfase na Calibração) seja realizado após 6 meses da data de conclusão da Fase 1. Isso resultará num melhor aproveitamento do conteúdo.

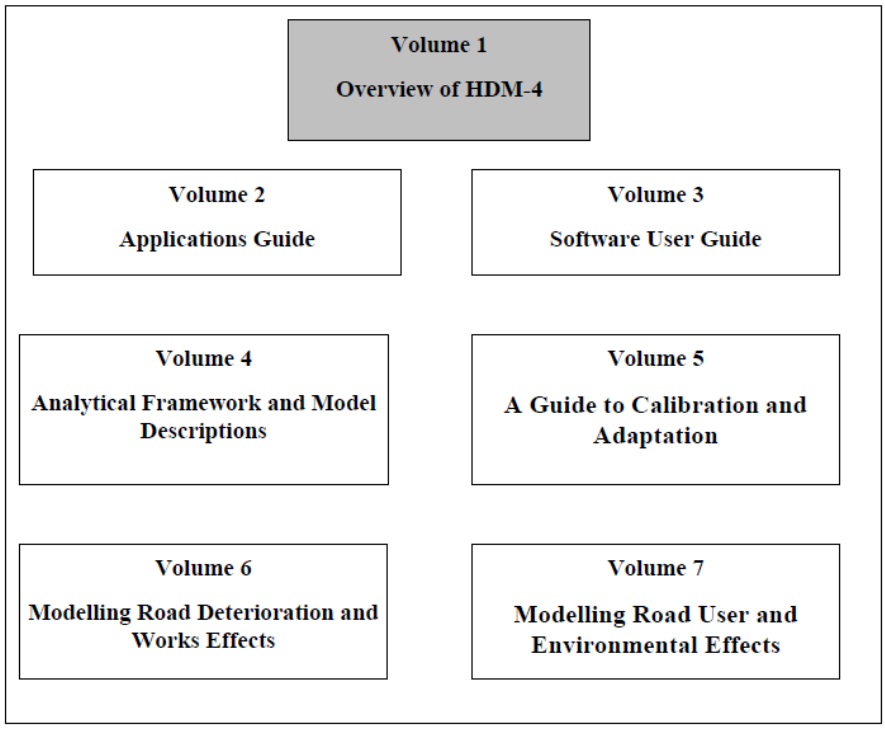


Figura 48 – Volumes de estudo do sistema HDM-4.

Volume 1

Visão Geral do HDM–4 É um resumo que descreve o sistema HDM–4. A leitura desse volume é recomendada aos novos usuários do HDM–4.

Volume 2

Guia de Aplicações É um guia de tarefas que descreve exemplos típicos de diferentes tipos de análises. Será usado freqüentemente por aqueles que desejam saber como desenvolver uma tarefa ou criar um estudo.

Volume 3

Guia do Usuário É um guia que detalha o software do HDM–4. É um documento de uso geral que ajuda o entendimento do programa.

Volume 4

Marco Analítico e Descrições de Modelos É um guia que descreve o marco analítico e as relações técnicas usada no modelo HDM–4. Contêm material com várias referências que descreve, em detalhe, as características do desenvolvimento do modelo e as estratégias

incorporadas ao HDM–4. Será de grande utilidade para os usuários cuja tarefa é desenvolver um estudo detalhado para a gerência rodoviária.

Volume 5

Guia de Calibração e Adaptação É um guia que sugere métodos para calibração e adaptação dos modelos HDM– III e HDM–4, permitindo adaptações a condições locais existentes em diferentes países. Dar diretriz como calibrar o HDM–4 por meios de seus diferentes fatores de calibração. Está recomendado para ser usado por usuários que desejam entender os exemplos e modelos construídos dentro do sistema HDM–4.

Volume 6

Modelo de Deterioração de Rodovias.

Volume 7

Modelos do Efeito dos usuários e do Meio Ambiente.

VI.14.2 - CURSO HDM-4, FASE 2 (NÍVEL AVANÇADO)

Metodologia Para o Desenvolvimento das Atividades

O treinamento será realizado por meio de palestras, complementadas com exercícios práticos, onde os participantes do curso terão a oportunidade de aprender a usar a ferramenta e aplicar as habilidades estudadas na sala de aula. O programa de treinamento inclui primordialmente os temas de calibração dos modelos de desempenho baseados em dados disponíveis, mas também irá incluir outros aspectos, como detalhes de manuseio e configuração do software em si e procedimentos de coleta de dados.

O consultor tem até três níveis de treinamento que podem ser realizados de forma independente segundo o nível de domínio do HDM-4 dos participantes, ou que podem ser agrupados para obter uma visão geral do programa. Este curso será realizado para o nível três de treinamento, tendo em vista que os participantes do curso já tenham conhecimento nos níveis um e dois.

Período do Curso

O curso com duração de 20 horas, distribuído durante 4 dias, foi ministrado por Maurício Salgado Torres nos dias 04 a 07 de abril de 2016.

Nível Avançado

Este nível consiste em uma introdução para a calibração e aferição dos modelos, assim como a explanação da sensibilidade dos coeficientes de calibração. A realização deste nível busca cobrir necessidades de formação para melhorar a eficácia do HDM-4 como uma ferramenta de planejamento com parâmetros locais.

Uma vez que os conceitos básicos do programa foram apresentados durante a realização do curso básico, realizado em outubro de 2015 na sede da concessionária Via 040, espera-se que o curso avançado de HDM-4 tenha como principal tema a calibração dos modelos de desempenho baseados nos dados coletados na Via-040 e armazenados em seu sistema de gerenciamento de dados.

Assim, é necessário que para os participantes possam acompanhar integralmente o curso ministrado, tenham certo conhecimento do software, como: conceitos gerais de gerenciamento da infraestrutura rodoviária, conhecimento do HDM-4 como ferramenta de gerenciamento, visão global e estrutural do HDM-4, configuração e parametrização básica, identificação e agrupamento de segmentos homogêneos, técnicas de reabilitação e manutenção aplicadas ao HDM-4, definição modelagem do HDM-4 e inter-relações dos modelos, conceitos gerais de calibração, conceitos de avaliação de projetos utilizados no HDM-4 (tipos de avaliação econômica, objetivos das avaliações, classificação de custos, custos de construção, custos dos usuários, custos e benefícios exógenos (imprevistos), conceitos adicionais (período de análise, taxa de desconto, valor residual), indicadores de rentabilidade, taxa interna de retorno), etc. A programação do curso de nível avançado é apresentada na Tabela 30.

Tabela 30 – Programação do Curso Nível Avançado do HDM-4.

Duração	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
1 Hora	Recapitulação do Nível básico.	Conceitos Gerais de Calibração (Nível 3) e implementação de HDM4.	Workshop 3: Calibração de variáveis dos Modelos de Deterioração.	Segmentos Homogêneos e valores médios Representativos
2 Horas	Conceitos associados a calibração. Classes de Modelagem e Inter-relação dos Modelos	Workshop 1: Parametrização (Nível 3) de HDM-4	Análise de Resultados de Calibração.	Análise da Calibração e impacto no Modelo RUE (VOC e RDWE)
1 Hora	Coleta da Base de dados e análise. Supervisão dos dados incluindo controle e qualidade	Modelos de Deterioração do HDM4. Calibração de variáveis dos Modelos de Deterioração.	Análise Multicritério e Análise de Sensibilidade em Modelos de Calibração.	Workshop 4: Calibração e impacto no Modelo RUE (VOC e RDWE)
1 Hora	Estudos da Condição das Rodovias: IRI e ATR, Deflexão, Condição Superficial, Estrutura de Pavimento.	Workshop 2: Parametrização dos modelos de deterioração	Alternativas de Monitoramento de deterioração de Pavimentos	Workshop 4: Análise de Resultados de Calibração e Aferição.

Competências Desenvolvidas

Conhecimento dos principais conceitos de calibração:

- Parametrização de modelos para alcançar a maior exatidão da representação;

- Avaliaão e aplicação e recursos disponíveis para efetuar uma calibração confiável em função da qualidade dos dados.

- Metodologias de processamentos e análise dos dados, como: organização e classificação dos dados, médias de valores das variáveis, definição de categorias de estudo, etc;

- Entendimento dos modelos HDM-4 (Road Deterioration, Works Effects, Road User Effects, Social and Environment Effect);

- Orientaçoes sobre a sensibilidade referente aos parâmetros associados aos modelos de efeitos de usuário;

-Identificação da confiabilidade dos modelos (dependem qualidade e extidão dos dados, análise dos fatores de calibração e validez da relação dos modelos); e

- Calibração de coeficientes dos modelos de deterioração.

Domínio nas práticas, processos, procedimentos e análises das ferramentas usadas no curso:

- Preparar e adaptar a informação necessária para trabalhar com o HDM-4;

- Parametrizar a ferramenta de acordo com as condições locais;

- Configurar o HDM-4;

- Workshop 1 e 2: Parametrização de (Nível 3) de HDM-4, dos modelos de deterioração;

- Workshop 3: Calibração de variáveis dos Modelos de Deterioração; e

- Workshop 4: Análise de Resultados de Calibração e Aferição.

VI.15 - AQUISIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DO LABORATÓRIO PARA CAPACITAÇÃO TÉCNICA

O Laboratório está dotado de instrumentação tradicional na área de Pavimentação e solos, incluindo os de ensaios de cargas repetidas, possibilitando a realização de análises pelos métodos mais modernos sugeridos pela ciência da área. Foram priorizadas as aquisições de equipamentos automatizados para garantir a qualidade dos ensaios.

Até o final de outubro de 2015 foi contratado um profissional de laboratório, Laboratorista Gilson Jorge Lima Mendonça, e um auxiliar, Guilherme de Souza Oliveira, para manutenção dos equipamentos e acessórios do laboratório, realização dos ensaios e orientação, incluindo acompanhamento, das atividades de laboratório exercidas pelos acadêmicos selecionados para a capacitação técnica.

As monitorações de campo revelarão o nível de degradação e deterioração do pavimento através dos resultados dos levantamentos e leituras realizadas na superfície do revestimento asfáltico. As manifestações de defeitos, irregularidades e deformações no pavimento são resultantes das características, propriedades, nível de degradação e estado de tensão dos materiais que compõem as camadas dos pavimentos. Esses materiais são executados no laboratório de forma a reproduzir sua condição em campo, incluindo de solicitação por ação do tráfego.

Os ensaios laboratoriais é uma tentativa de reprodução da condição de campo, não havendo uma correlação simples e universal entre o comportamento observado em campo e nos ensaios de laboratório. Buscando ajustes campo-laboratório são realizados monitorações e ensaios nas Unidades de Amostragem (UAs) e análises comparativas entre os resultados observados em campo e laboratório. A curva real de campo ajustada para a curva de laboratório poderá variar por UA.

Os resultados dos ensaios laboratoriais realizados em amostras das camadas do pavimento, em particular os módulos de resiliência dos materiais, permitirão a elaboração de análises de tensão-deformação pelo método dos elementos finitos, com base nos parâmetros de deformabilidade dos materiais. Conhecidos os módulos de resiliência dos materiais haverá aprimoramento das retroanálises das bacias de deflexão, através da redução das incertezas envolvidas em tais estudos que servem para elaborar projetos de reforço ou restauração dos pavimentos.

Através dos parâmetros mecanicistas obtidos pelos ensaios será possível elaborar análises sobre o comportamento das misturas, como suas curvas de fadiga, equações dos Módulos de Resiliência e deformações permanentes. A realização de estudos sobre esses parâmetros segue a tendência que hoje está formada no meio científico, que difunde a caracterização mecanicista dos materiais e misturas empregadas na pavimentação como uma forma de melhor parametrizar a durabilidade da estrutura.

Por fim, o Laboratório é uma ferramenta que, acima de tudo, proporciona a precisa caracterização dos possíveis materiais a serem empregados na estrutura do pavimento da Via040.

Além disso, sua infraestrutura é fundamental para o desenvolvimento do Programa de Capacitação Técnica. A Figura 48 apresenta o laboratório com os equipamentos.



Figura 48 – Equipamentos instalados no Laboratório de Pavimentação e Solos e vidraria.

VI.15.1 - EQUIPAMENTOS

Foram priorizadas aquisições de equipamentos para realização de ensaios de laboratório e campo, objetivando avaliar o comportamento campo laboratório. Sendo o trincamento do pavimento um critério de ruptura relacionado às condições funcional e estrutural dos pavimentos, bem como que afeta o conforto ao rolamento dos usuários da rodovia, buscar-se-ão os principais parâmetros que podem influenciar no processo de formação de trincas.

Conforme Hveem (1955), o trincamento progressivo dos revestimentos asfálticos se devia à deformação resiliente (elástica) das camadas subjacentes, em especial o subleito. O termo resiliência significa energia armazenada num corpo deformado elasticamente, a qual é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações – corresponde à energia potencial de deformação (Medina e Motta, 2005).

Por outro lado, os níveis de deformação aplicados ao pavimento, isoladamente, não são suficientes para levá-lo instantaneamente à ruptura. Porém, cada deformação aplicada, de forma cíclica, passo a passo, vai causando um acúmulo de incontáveis zonas de plastificação que, apesar de microscópicas e não mensuráveis unitariamente, ao longo do processo de uso da estrutura de pavimento, acabam definindo planos de fratura e descontinuidades, prejudicando bastante as respostas estruturais inicialmente apresentadas (Balbo, 2007). Tal fenômeno, danificação por fadiga, relaciona-se ao fato de que o revestimento asfáltico, sendo sucessivamente solicitado em níveis inferiores àqueles de ruptura, para dado modo de solicitação, pouco a pouco desenvolvam alterações em sua estrutura interna, que resultam na perda das características estruturais originais. Isso gera um processo de microfissuração progressiva que culmina no desenvolvimento de fraturas e, consequentemente, no rompimento do pavimento. Pelas razões expostas, destaca-se a importância da realização de ensaios para determinação dos módulos de resiliência dos materiais dos pavimentos e dos modelos de fadiga.

A solicitação dinâmica dos pavimentos e do subleito, sujeitos a cargas de diferentes intensidades e frequências variáveis ao longo do dia e do ano, é de simulação difícil (Medina e Motta, 2005). Nos pavimentos cada carga aplicada exerce pressões diferentes, resultando em estados de tensão distintos nas camadas dos pavimentos. Um dos fatores mais simples que causam diferenças notáveis entre os ensaios de fadiga e a forma de aplicação de cargas em campo é a variabilidade do carregamento (Balbo, 2007). Como a aplicação de cargas durante o ensaio é incompatível com a realidade de campo é necessário que também sejam realizados ensaios de campo para monitorar as condições e resposta dos pavimentos frente à solicitação do tráfego e clima. Assim, para haver uma melhor compreensão da relação campo laboratório, as campanhas de campo visam à utilização dos equipamentos para monitoração das condições do pavimento.

No relatório RT-03 apresentou-se a lista dos equipamentos do Laboratório de Pavimentação adquiridos e entregues, incluindo os equipamentos de campo. Por se tratar de um equipamento importado, dos equipamentos previstos, apenas o Triaxial Dinâmico não tinha sido entregue. Entretanto, o processo de compra do Triaxial Dinâmico já foi concluído e os equipamentos

previstos para elaboração dos ensaios de Laboratório de Pavimentação foram entregues e alocados no laboratório. Devido ao processo de importação, o Triaxial Dinâmico era o único equipamento que não havia sido entregue. O equipamento e os acessórios necessários para a instalação já se encontram disponíveis para a montagem por parte do representante (Figura 49). A montagem, auxiliada pelo representante do equipamento, será realizada em março de 2016, momento em que haverá o curso de treinamento para manuseio do Triaxial Dinâmico objetivando capacitar toda a equipe técnica do projeto de RDT. Com o Triaxial Dinâmico serão realizados os ensaios para determinação dos módulos de resiliência e curvas de fadiga.



Figura 49 – Equipamento Triaxial Dinâmico, acessórios e compressor.

VI.16 - PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO TÉCNICA (PROGRAMA DE ESTÁGIOS)

Atividade ocorre no prazo previsto. As estagiárias Jéssika Miranda Santos e Fernanda Taysa de Castro Morais tiveram que deixar o programa devido à conclusão de curso no mês de dezembro de 2015. No lugar delas foram contratados dois novos estagiários: Luma Verônica Silva Almeida e Filipe Motta Silveira de Oliveira.

O programa de estágio de inverno ocorreu no prazo previsto. O processo de seleção dos estagiários para o programa de verão ocorreu no final do mês de novembro de 2015 para contratação durante as férias escolares. O objetivo deste programa é capacitar os estudantes para os ensaios a serem realizados nas Unidades de Amostragem. Devido à constante chuva durante o mês de dezembro, a contratação dos estagiários e a campanha de campo foram postergadas, visando o melhor desenvolvimento das atividades de campo. Na segunda quinzena de dezembro, o processo de contratação foi retomado, porém não foi possível assinar o contrato de estágio junto com a universidade, visto que durante o período, o setor administrativo das universidades estava de férias. As universidades retornaram as atividades na segunda semana de janeiro, o que inviabilizou a contratação dos mesmos, em função do término das férias escolares.

VI.16.1 - PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO TÉCNICA (PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS)

Congressos Técnicos Científicos são excelentes oportunidades de fazer contatos tanto no meio acadêmico quanto em setores comerciais, além de ser uma ótima forma de manter-se atualizado sobre técnicas, teorias e produtos da área em interesse. A equipe da Via040 participou de importantes eventos na área de pavimento.

44ª RAPv – 18º ENACOR – 4ª Expopavimentação

O 44ª RAPv, 18º ENACOR e 4ª Expopavimentação realizados em conjunto em Foz do Iguaçu abrangeu três eventos: A 44ª Reunião Anual de Pavimentação, o 18º Encontro Nacional para Conservação Rodoviária e a 4ª Expopavimentação. No primeiro dia do evento foram ofertados minicursos sobre diversos temas relacionados à pavimentação. Os minicursos foram acompanhados pelo grupo da Via040: (i) Mechanistic Characterization and Design of Asphalt Mixtures and Flexible Pavements (focus on mixture scale), ministrado pelo professor do Texas A&M University, Dr. David Allen; (ii) Conservação de Rodovias, ministrado pelo Eng.º Jorge Akishino, do DER/Paraná.

As sessões técnicas apresentaram trabalhos técnico-científicos sobre uma gama diversa de assuntos: Misturas asfálticas, Modelagem Físico-Numérica, Obras de Arte e segurança viária, ferrovias, materiais de pavimentação, dimensionamento e gerência de pavimentos.

A palestra ministrada pela Prof.ª da COPPE/UFRJ, Laura Maria Goretti da Motta, também forneceu informações importantes a respeito do tema central de nossa pesquisa, a gerência de pavimentos. A professora enfatizou a importância de se inserir valores de afundamento de trilha

de roda (deformação permanente) e de porcentagem de área trincada (fadiga) em modelos de previsão de desempenho de pavimentos.

O balanço geral do congresso foi extremamente positivo para os estagiários(as) e engenheiros(as) envolvidos(as) direta ou indiretamente no projeto de RDT e para a Concessionária Via040. A oportunidade de conhecer as metodologias de diversos trabalhos técnicos e científicos, a forma como os mesmos devem ser apresentados e a atualização sobre o desenvolvimento tecnológico da pavimentação no Brasil e no mundo irá enriquecer sobremaneira o trabalho de pesquisa que está sendo desenvolvido.

9º Congresso Brasileiro de Rodovias & Concessões e 9ª Exposição Internacional de Produtos para Rodovias (CBR&C e BRASVIAS)

A realização do CBR&C e BRASVIAS constitui o mais importante evento realizado pela iniciativa privada, no Brasil, para discussão de temas de interesse da infraestrutura rodoviária brasileira. Dessa forma, o evento foi uma grande reunião, com participação de parcela considerável das concessionárias de rodovias que atuam no país. O foco principal desta edição do evento foi político-estratégico: foram apresentas conferências e mesas redondas para discutir a situação das concessões rodoviárias no Brasil após os vinte anos do lançamento do primeiro pacote de concessões (Procofe) em 1994.

Mesmo tendo um foco político-estratégico, a qualidade das palestras técnicas apresentadas no congresso CBR&C não ficou aquém das expectativas do Grupo da Via040. O tema da cobrança de pedágio por trecho percorrido foi discutido no segundo dia do evento numa série de três palestras: André Pina, assessor de tecnologia da informação da Agência de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP), apresentou o projeto do Governo do Estado de São Paulo para uma nova forma de cobrança de pedágio, feita de forma eletrônica e baseada no trecho percorrido pelo usuário. O programa, iniciado em 2011, ainda está em fase de testes. A experiência internacional com a cobrança automática (*free flow*) foi exemplificada nas palestras do Eng. Jack Opiola (Estados Unidos) e do Eng. Viente Dumond (Europa).

No terceiro dia de Congresso foram apresentados trabalhos científicos relevantes na área de pavimentação. Dentre eles se destacaram projetos desenvolvidos por concessões Rodoviárias. A Exposição Internacional de produtos para rodovias (BRASVIAS) também apresentou novos produtos e tecnologias bastante interessantes.

A experiência para os estagiários(as) e engenheiros(as) envolvidos(as) no projeto de RDT da Via 040 foi bastante relevante. O entendimento da dinâmica e regulação do setor de concessões rodoviárias ajudará a fortalecer a necessidade de desenvolvimento tecnológico no setor. Adicionalmente, a troca de experiência entre concessionárias é muito enriquecedora.

XV Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

O *XV Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* foi um importante evento na área de Geotecnia e Mecânica dos Solos de abrangência internacional.

Além de temas relacionados à área de pavimentação, houveram temas das diversas áreas da ciência aplicada à mecânica dos solos. Para entendimento do comportamento do pavimento é fundamental que os conceitos sobre Geotecnia sejam bem entendidos. Também para realização dos ensaios de laboratório e campo (previstos no RDT) e análises dos resultados deve-se aprofundar mais sobre os tópicos relacionados à mecânica dos pavimentos. Como os demais eventos foram específicos sobre rodovias e pavimentos, o evento internacional complementou a gama de conhecimentos necessários para o avanço dos trabalhos de pesquisa do RDT.

VI.16.2 - CAMPANHAS DE CAMPO 01 E 02

A Campanha de Campo 01 não ocorreu no prazo estipulado, pois a estrutura física do laboratório não estava definida, de tal forma que não havia condições necessárias para a correta instalação e armazenamento desses equipamentos. Foram realizadas, como medida de compensação, visitas técnicas nos meses de Julho e Agosto de 2015 para que os estagiários conhecessem todos os trecho da rodovia e as atividades de manutenção e conserva que são realizadas nos pavimentos da Via040. A Campanha de Campo 02 foi programada para ser realizada durante todo o mês de janeiro de 2016, mês em que foram feitos os ensaios de textura do pavimento (pêndulo britânico e mancha de areia), abertura de poços de inspeção, que inclui os ensaios de densidade (frasco de areia), permeabilidade in situ, Speedy, penetrômetro dinâmico (DCP) e coleta de amostras para ensaios no laboratório de todas as camadas do pavimento (base, sub-base e sub-leito).

Para a abertura da janela de inspeção (Figura 50) utiliza-se a serra clipper para o corte do asfalto e um martelete para a retirada do asfalto, assim que se alcançou a base do pavimento o primeiro ensaio a ser feito é o de frasco de areia (Figura 51). Para realização deste ensaio é necessário a limpeza da superfície do solo onde será feita a medição, deixando-a plana e horizontal. Coloca-se a bandeja na superfície e faz-se uma cavidade cilíndrica no solo com profundidade de cerca 15 cm, limitada ao orifício central da bandeja. O solo extraído durante a realização da cavidade é recolhido e pesado, sendo que 100 gramas serão utilizados para determinação da umidade in situ através do método Speedy.



Figura 50 - Abertura da janela de inspeção.



Figura 51 – Ensaio de frasco de areia.

O método Speedy consiste em colocar a amostra em um recipiente (Figura 52) com bolas e duas cápsulas com pó absorvente a base de carbureto de cálcio. Ao agitar o aparelho as cápsulas são rompidas, ocorre reação da umidade do solo com o carbureto, que libera um gás, exercendo pressão no aparelho Speedy, indicando então o teor de umidade.



Figura 52 - Equipamento Speedy.

Após a abertura da cavidade, instala-se o conjunto de frasco de areia (Figura 53), de modo que o funil encaixe na cavidade. Abre-se o registro do frasco para que a areia escoe livremente até cessar o movimento da mesma, em seguida fecha-se o registro, retira o frasco mais funil, pesa-se este conjunto com areia que nele restar. A massa específica aparente do solo úmido será dada pela razão do peso do solo retirado da cavidade pelo peso da areia que enche a cavidade. A massa específica aparente do solo seco será a massa aparente do solo úmido vezes o fator de correção. O grau de compactação será a razão da massa específica do solo seco *in situ* pela massa específica aparente do solo obtida em laboratório.



Figura 53 - Conjunto frasco de areia.

Em seguida, é feito o ensaio para determinar a resistência do solo através do penetrômetro dinâmico (DCP). Este ensaio consiste em cravar no solo um cone por ação da queda livre de uma massa (Figura 54). A resistência à penetração é definida como o número de pancadas necessárias para cravar o penetrômetro a uma dada distância. O registro das leituras é feito de forma contínua sem recolhimento de amostra.



Figura 54 - Penetrômetro dinâmico (DCP).

Através do cilindro de cravação (Figura 55), retira-se uma amostra de solo com volume conhecido, esta amostra é pesada e através da relação peso e volume, descobre-se a densidade *in situ* de cada camada do solo.



Figura 55 - Penetrômetro dinâmico (DCP).

O último ensaio realizado na janela de inspeção é o ensaio de rebaixamento para determinar a permeabilidade *in situ*. A execução deste ensaio consiste em estabelecer uma coluna d'água inicial, em seguida, cessar a introdução de água e acompanhar o tempo gasto e o rebaixamento do nível d'água.

Os ensaios de mancha de areia e pêndulo britânico para determinar as texturas do pavimento (macro e micro, respectivamente) são realizados de forma a garantir o mínimo de cinco leituras entre as trilhas de roda interna e externa. A terceira leitura coincide com o km definido para a Unidade de Amostragem, conforme esquema da Figura 56.

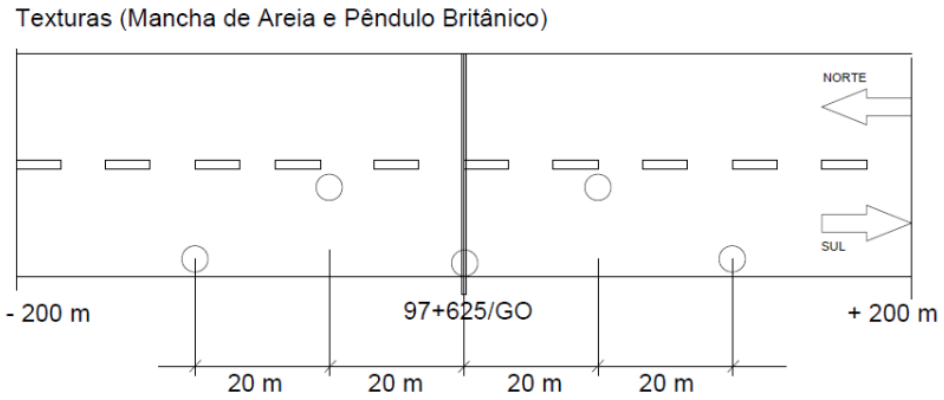


Figura 56 - Esquema de realização dos ensaios de mancha de areia e pêndulo britânico (macro e micro texturas do pavimento).

O pêndulo britânico é utilizado para determinação da microtextura do pavimento, o funcionamento deste aparelho é baseado na perda de energia do pêndulo quando este desliza sobre o pavimento (Figura 57). O ensaio consiste em realizar pelo menos cinco lançamentos da sapata contra o pavimento molhado, sendo o primeiro lançamento descartado. Os valores da resistência à derrapagem são anotados, sua média calculada e comparadas com a classificação especificada no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT. No Manual, as superfícies com valores acima de 55 são consideradas medianamente rugosas a rugosas.

O ensaio de mancha de areia determina a macrotextura do pavimento, através do preenchimento dos vazios da textura superficial com um volume de 25.000 mm³ de areia de grãos arredondados, passante na peneira de abertura de 0,3 mm e retida na de 0,15 mm. Para a realização do ensaio se limpa a superfície com uma escova, o volume de areia é espalhado na superfície seca através de um disco, com movimentos uniformes e circulares, a fim de preencher os vazios da superfície até o espalhamento total da areia (Figura 58). Mede-se pelo menos quatro diâmetros do círculo formado e a média das é utilizada para determinar a altura média da mancha de areia. De acordo com o Manual do DNIT a textura do pavimento é classificada de acordo com a altura da mancha de areia, sendo que os valores superiores a 40 indicam um pavimento com macro textura grossa a muito grossa.



Figura 57 – Ensaio com pêndulo britânico.



Figura 58 - Ensaio de mancha de areia.

A medição do Afundamento da Trilha de Roda é realizada com o auxílio da treliça metálica. A medição consiste em colocar a treliça na trilha de roda interna e externa e realizar a leitura obtida pela régua a qual representa o afundamento da trilha de roda (Figura 59). As leituras são feitas em cinco pontos nas trilhas de rodas interna e externa conforme esquema apresentado na Figura 60.



Figura 59 – Medição do afundamento em trilha de roda (ATR) com treliça metálica.

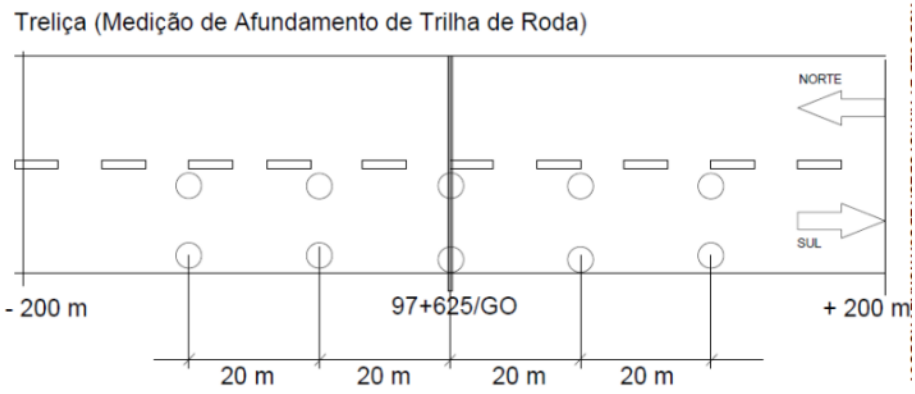


Figura 60 – Localização dos pontos de leituras dos ATR (trilhas internas e externas).

A viga Benkelman é um equipamento que possibilita realizar medições deflectométricas de um pavimento. Ela é constituída de um conjunto de sustentação em que se articula uma alavanca interfixa e um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2 toneladas para aplicar a carga sob a qual será medida a deformação elástica. A linha de influência deflectométrica (bacia de deflexão) é determinada com os mesmos espaçamentos de leituras realizados no FWD: 0 cm (deflexão máxima); 20 cm; 30 cm; 45 cm; 60 cm; 90 cm; e 120 cm.

Para a avaliação estrutural do pavimento é necessário medir os seguintes parâmetros durante o ensaio:

1. Deflexão máxima: obtida através do deslocamento sob o centro das rodas duplas de um eixo simples.
2. Raio de curvatura: é o arco de parábola que passa por dois pontos da deformada, sob a carga de 20 cm do centro de massa.
3. Bacia de deformação: medidas dos deslocamentos elásticos em vários pontos a partir do centro de carregamento.

O ensaio de viga Benkelman nas Unidades de Amostragem é executado da seguinte forma: coloca-se a ponta de prova da viga Benkelman entre os pneus da roda dupla traseira do caminhão, exatamente sob o seu eixo. Realiza-se a leitura inicial do extensômetro que se situa a uma distância segura para o operador sobre o braço móvel da viga, em seguida deve se fazer o caminhão deslocar lentamente até as distâncias definidas para delineação da linha de influência deflectométrica. Por fim, faz-se a leitura final à 20 m de distância em relação da ponta de prova, distância que comumente o extensômetro não acusa mais variação. O croqui esquemático da localização dos pontos de ensaio com viga Benkelman é apresentado na Figura 61.

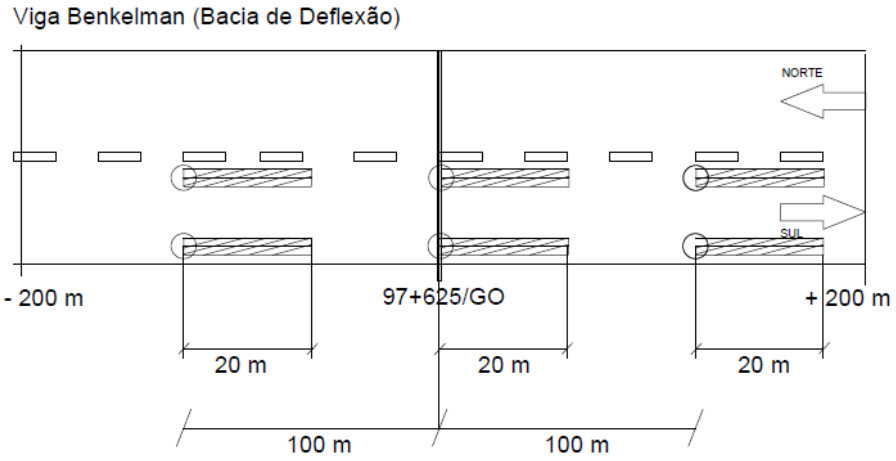


Figura 61 – Pontos de ensaios com uso da viga Benkelman.

A deflexão é dada pela diferença da primeira leitura e a última leitura multiplicada por uma constante da viga. Para a construção da curva da bacia de deflexão são feitas leituras de 20, 30, 45, 60, 90, 120 centímetros e 10 e 20 metros , a ser comparada com as leituras realizadas previamente com o FWD.

A equipe responsável pelos ensaios e retiradas de amostra foi formada pelos integrantes do projeto do RDT:

1. Aline Ferreira Andalicio – Estagiária
2. Bruno Oliveira da Silva – Estagiário
3. Filipe Motta Silveira de Oliveira – Estagiário
4. Gilson Jorge Lima Mendonça – Encarregado de laboratório
5. Guilherme de Souza Oliveira – Laboratorista
6. Luma Verônica Silva Almeida – Estagiária
7. Rodolfo Cesar Costa Arantes – Estagiário

A equipe do RDT contou com o auxílio de três colaboradores responsáveis pelo fechamento de pista, sinalização, advertência aos usuários e transporte das placas de sinalização e equipamentos:

1. Keidson Henrique Constantino Silveira
2. Gilberto Coelho Batista
3. Leandro Azevedo

No dia 08 de janeiro foi possível realizar os ensaios de campo previstos para a Unidade de Amostragem UA-07. Como houve dificuldade em se abrir a janela de inspeção neste local, devido à presença de três camadas de asfalto com cerca de 15 cm cada, gastou-se todo o dia para realizar os seguintes ensaios:

1. Texturas do asfalto (pêndulo britânico e mancha de areia)

2. Afundamento em trilha de roda (Treliça)
3. Ensaios de densidade (frasco de areia)
4. Permeabilidade *in situ*
5. Speedy
6. Penetrômetro dinâmico (DCP)
7. Coleta de amostras para ensaios no laboratório de todas as camadas do pavimento (base, sub-base e sub-leito).

No dia 09 de janeiro realizaram-se os ensaios na Unidade de Amostragem UA-08, porém devido à quebra do equipamento durante a retirada da camada de asfalto não foi possível realizar todos os ensaios nesta UA. Dessa forma, os ensaios que não dependiam da abertura da janela de inspeção foram realizados, sendo eles:

1. Textura do asfalto (pêndulo britânico e mancha de areia)
2. Afundamento em trilha de roda (Treliça)

No dia 11 de janeiro foi possível realizar os seguintes ensaios na Unidade de Amostragem UA-06:

1. Textura do asfalto (pêndulo britânico e mancha de areia)
2. Afundamento em trilha de roda (Treliça)
3. Ensaios de densidade (frasco de areia)
4. Permeabilidade *in situ*
5. Speedy
6. Penetrômetro dinâmico (DCP)
7. Coleta de amostras para ensaios no laboratório de todas as camadas do pavimento (base, sub-base e sub-leito).

Nos dias 12 e 13 de janeiro não foi possível realizar ensaios programados para as Unidades de Amostragem devido à ocorrência de chuva constante. A fim de zelar pela segurança de toda a equipe não é permitido o fechamento de pista quando esta se encontra molhada. Devido à persistência da chuva durante todo o mês de janeiro foi acordado em adiar a campanha de campo para evitar desperdício de recursos, assim, foi realizado um novo planejamento para a realização dos ensaios nas Unidades de Amostragem.

As amostras retiradas nas Unidades de Amostragem (UAs) servirão para realizar os seguintes ensaios no laboratório:

1. Granulometria simples
2. Limite de liquidez e plasticidade
3. Compactação
4. Índice de Suporte de Califórnia (CBR)
5. Expansão

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para determinar a porcentagem, em peso, que cada faixa específica de tamanho de partículas representa na massa total da amostra. Para isso, a amostra é preparada e passada por um conjunto normatizado de peneiras, pesando-se todo material retido em cada peneira (Figura 62).



Figura 62 - Peneiras para ensaio de granulometria simples.

O Limite de liquidez é definido como a divisa a qual o solo se comporta como material plástico, ou seja, a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo. O limite de plasticidade é tido como o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço, ou seja, a transição entre os estados plástico e semi-sólido do solo. Através desses ensaios podem-se estimar as propriedades do solo em relação à compressibilidade.

O ensaio de limite de liquidez consiste em colocar uma amostra em um recipiente de porcelana e ir adicionando água até a amostra ficar homogênea. Em seguida, passa-se certa quantidade para a concha do aparelho de casa grande (Figura 63), aplainando com o auxílio de uma espátula. Com um cinzel realiza-se uma ranhura no meio da massa no sentido de maior comprimento do aparelho. Gira-se a manivela e conta-se o número de golpes necessários para fechar a ranhura, ao fechar a ranhura, uma parte do material é utilizado para determinar o teor de umidade. Com os pares de valores (número de golpes, teor de umidade) constrói-se um gráfico relacionando teores de umidade, em escala aritmética (nas ordenadas) com o número de golpes em escala logarítmica (nas abscissas). O teor de umidade correspondente a 25 golpes, obtido por interpolação linear é o Limite de Liquidez.

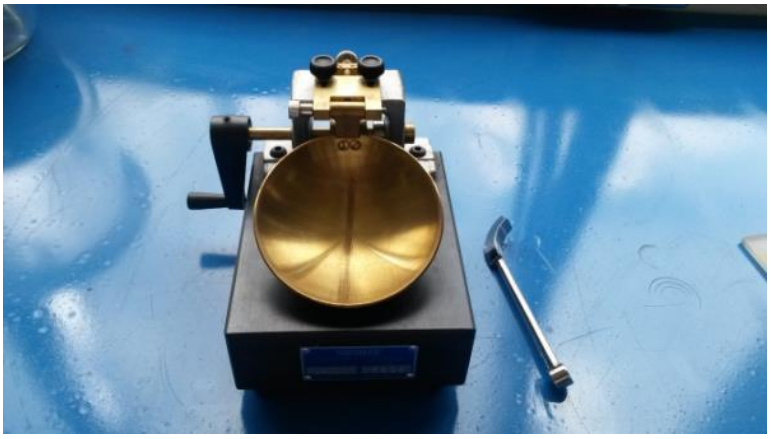


Figura 63 - Aparelho Casa Grande.

O ensaio de Limite de Plasticidade (Figura 64) também consiste homogeneizar a massa através de adição de água em um recipiente com a amostra. Em seguida, molda-se certa quantidade de massa em forma cilíndrica, rolando-a sobre uma placa de vidro até que ocorram fissuras em pequenos fragmentos quando essa atingir dimensões de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, conforme gabarito. Estes fragmentos são coletados para determinação do teor de umidade. A média dos valores de umidade encontrados é o Limite de Plasticidade.



Figura 64 - Conjunto limite de Plasticidade.

Através do ensaio de compactação (Figura 65) é possível determinar a relação entre o teor de umidade e o peso específico do solo seco quando compactado com determinada energia (normal, intermediária, modificada), obtendo-se a curva de compactação do solo. Para este ensaio utiliza-se uma amostra de solo que passou pela peneira de 19 mm. A amostra será homogeneizada com a adição de água e em seguida compactado no molde cilíndrico em 3 camadas iguais, aplicando-se em cada uma delas 25 golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada. A

curva de compactação é obtida marcando-se os valores dos pesos específicos secos e os teores de umidade correspondente.



Figura 65 - Preparação da amostra para o ensaio de compactação.

O ensaio de expansão (Figura 66) é uma etapa para se determinar o índice de suporte de Califórnia, para este ensaio é necessário a moldagem de um corpo de prova com a amostra passada em uma peneira de 19 mm. Em cada corpo de prova colocam-se os pesos anelares e a haste de expansão juntamente com um extensômetro para medir as expansões ocorridas. Os corpos de prova são imersos em água durante 96 horas e as leituras do extensômetro devem ser feitas de 24 em 24 horas.



Figura 66 - Ensaio de expansão.

O Índice de Suporte Califórnia também é determinado utilizando-se um corpo de prova com a amostra passada na peneira de 19 mm. Para este ensaio, utiliza-se o mesmo molde do ensaio de

expansão, levando o conjunto à prensa para assentamento do pistão de penetração no solo, por meio de aplicação de uma carga de aproximadamente 4,5 kg. Zera-se os ponteiros do extensômetro do anel dinamométrico e o que mede a penetração do pistão no solo. Aciona-se a manivela da prensa com uma velocidade constante e faz-se as leituras do extensômetro de acordo com a penetração do pistão no solo e o tempo decorrido de ensaio (Figura 67). Ao final obtém-se o Índice de Suporte de Califórnia através de um gráfico juntamente com o ensaio de compactação.



Figura 67 - Ensaio para determinação do Índice de Suporte de Califórnia

Os ensaios de laboratório foram realizados, até o presente momento, nas amostras retiradas da camada de base das Unidades de Amostragem UA-06 e UA-07. Os resultados dos ensaios são apresentados neste relatório por Unidade de Amostragem (vide ANEXO).

VI.16.3 – MANUAIS DE ENSAIOS LABORATORIAIS E DE CAMPO

Visto a quantidade de ensaios de laboratório e campo realizados durante a pesquisa de RDT e a necessidade de perpetuação dos procedimentos envolvidos nessas atividades, foram elaborados 22 (vinte e dois) Manuais referentes aos ensaios, objetivando a continuidade do Programa de Capacitação com vistas no aperfeiçoamento das técnicas e multiplicação do conhecimento. Os manuais apresentam de forma simples e didática o procedimento executivo dos ensaios realizados no Laboratório de Pavimentação e Solos da Via040. Os Manuais foram desenvolvidos pela equipe de estagiários inseridos no Programa de Capacitação Técnica, sob acompanhamento do corpo técnico da Via040. Utilizou-se como referências de pesquisa normas nacionais e internacionais que regulamentam o procedimento executivo dos ensaios. Foram consultados documentos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), Departamento de Estradas e Rodagem (DER), do antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), Associação Brasileira de

Normas Técnicas (ABNT), dentre outras referências consagradas no meio técnico da engenharia geotécnica e pavimentação. Além da apresentação dos procedimentos do passo a passo dos ensaios, relacionaram-se também as equações e métodos para obtenção e representação dos resultados de cada um dos ensaios. Os documentos são de fácil entendimento e foram idealizados para possibilitar a realização dos ensaios por qualquer pessoa, mesmo sem conhecimento avançado dos processos de um laboratório de pavimentação. A seguir listagem dos manuais desenvolvidos. Cada Manual é um volume específico em formato A4 e se encontram ANEXO a esse relatório.

M1 - Preparação de amostras

M2 - Granulometria simples

M3 - Granulometria por sedimentação

M4 - Limites de Atterberg

M5 - Compactação

M6 - CBR/Expansão

M7 - Equivalente de areia

M8 - Permeabilidade carga constante

M9 - Permeabilidade carga variável

M10 - Massa específica real

M11 - *Rice Test*

M12 - Módulo de Resiliência – Solos

M13 - Módulo de Resiliência – Misturas asfálticas

M14 - Deflexão - Viga Benkelman

M15 - Micro textura - Pêndulo Britânico

M16 - Macro textura - Mancha de areia

M17 - Densidade *in situ* - Frasco de Areia

M18 - Densidade *in situ* - Cilindro cravação

M19 - Medição ATR - Treliça metálica

M20 - DCP

M21 - Correção de umidade

M22 - Umidade *in situ* – Fogareiro + Speedy

VI.17 - ANÁLISES DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Neste item são apresentados os detalhes dos ensaios realizados para obtenção dos módulos de resiliência (MR) de misturas asfálticas, materiais de base, sub-base e sub-leito e das curvas de fadiga das misturas asfálticas. Para determinação do MR e curvas de fadiga das misturas asfálticas faz-se uma adaptação no equipamento Triaxial Dinâmico. Os MRs dos materiais de base, sub-base e sub-leito são realizados diretamente no Triaxial Dinâmico. Além dos detalhes dos ensaios citados, também são apresentadas análises comparativas com os resultados típicos encontrados na literatura.

O parâmetro rigidez tornou-se essencial para o dimensionamento de pavimentos, após o desenvolvimento dos métodos mecanísticos, que compatibilizam a solicitação do tráfego com dados de resistência dos materiais (Franco, 2007). Pode-se citar os métodos de Kerkhoven e Dormon (1953), Saal e Pell (1960) e Dormon e Metcalf (1965), além dos métodos nacionais como o Método da Resiliência (Motta, 1991). O dimensionamento mecanístico tem por objetivo final a determinação da espessura de reforço estrutural que atenda simultaneamente, e de maneira econômica, aos critérios limites de fadiga e de deformação permanente de todas as camadas do pavimento e do subleito, aumentando a confiabilidade da vida útil prevista para o pavimento (Fritzen, 2005).

Outro fator importante a ser levado em consideração é a compatibilização de rigidez entre as camadas do pavimento. Um pavimento bem dimensionado não é, necessariamente, aquele que apresenta uma rigidez elevada, mas sim aquele em que suas camadas trabalhem, quando submetidas às solicitações do tráfego, de maneira harmoniosa. A prática tem mostrado que valores de deflexão baixos no pavimento não indicam, obrigatoriamente, um trincamento reduzido, pois, por vezes, as camadas do pavimento não apresentam uma compatibilidade adequada quanto à deformabilidade. Nos estudos realizados nesta pesquisa, casos semelhantes foram observados.

O MR foi introduzido por Francis Hveem em 1955, como forma de melhor representar o módulo de elasticidade para materiais sob carregamentos cíclicos. De acordo com a teoria da elasticidade, tanto o MR quanto o módulo de elasticidade possuem o mesmo conceito, sendo ambos representados pela razão entre a tensão e a deformação. A motivação para a diferenciação entre estes, foi as discrepâncias entre a ordem de grandeza de deslocamentos dos materiais utilizados em pavimentação em relação aos materiais elásticos comumente utilizados na engenharia (Brito, 2006).

Ponte *et al.* (2014) explica que a análise dos resultados de MR não permite uma modelagem apropriada dos fenômenos comumente associados aos pavimentos, por não considerar o comportamento viscoelástico do mesmo. Porém, este ainda é o parâmetro de rigidez mais difundido no país, devido tanto à cultura de utilização desse parâmetro quanto ao alto valor de aquisição de equipamentos para obtenção do Módulo Dinâmico. Para a realidade brasileira, o

ensaio de MR é, numa análise comparativa, avançado quando se considera a caracterização mecânica dos materiais exigida pelo método de dimensionamento em vigor no país, que ainda baseia-se em resultados do ensaio de CBR (*California Bearing Ratio* ou Índice de Suporte Califórnia), bem como no uso do número N.

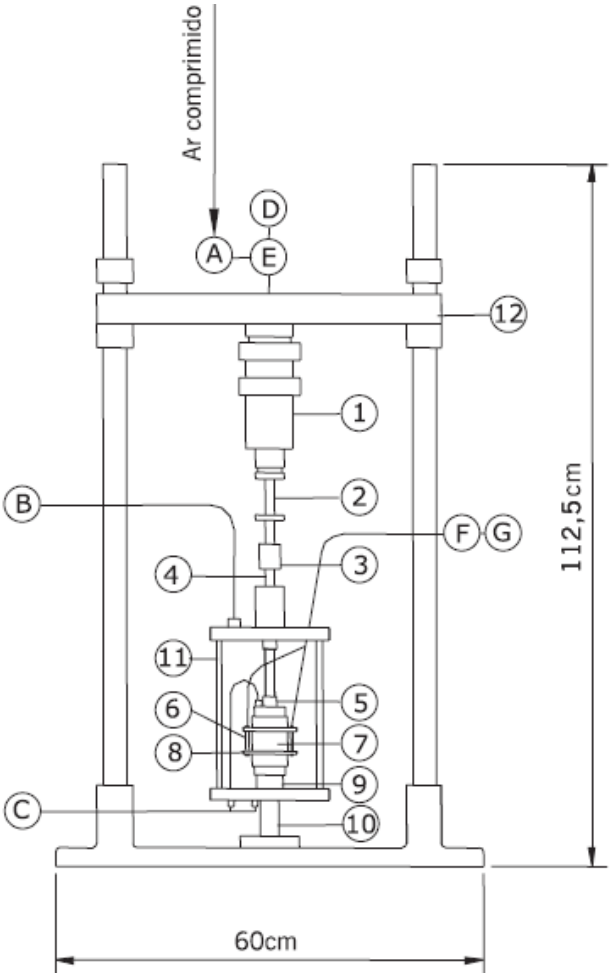
A fim de preparar e qualificar a equipe de estagiários, técnicos e engenheiros do Laboratório de Pavimentação da Via040 para a operação dos equipamentos, entendimento dos ensaios e capacitação quanto à análise dos resultados foi realizado um curso ministrado pelos fornecedores dos equipamentos, conforme apresentado na Figura 68.



Figura 68 - Ministração do curso de operação do equipamento de ensaios de carga repetida no Laboratório de Pavimentação da Via040.

VI.17.1 - ENSAIO TRIAXIAL DE CARGAS REPETIDAS

Para a determinação do módulo de resiliência de materiais de pavimentação, têm-se utilizado equipamentos de carga repetida em laboratório. A Figura 69 mostra um exemplo de equipamento triaxial de cargas repetidas e um desenho esquemático da montagem do corpo-de-prova dentro da célula triaxial. Na Figura 70 mostra-se o equipamento adquirido pelo projeto de RDT e seus componentes principais.



A – regulador de pressão para aplicação da tensão-desvio
B – regulador de pressão para aplicação da tensão confinante
C – sistema de vácuo
D – temporizador de controle da freqüência e tempo de duração do carregamento (tensão-desvio)
E – válvula de três vias
F – amplificador de sinal
G – oscilógrafo ou microcomputador com monitor e impressora
1. cilindro de pressão
2. pistão
3. conexão
4. haste
5. cabeçote (top-cap)
6. LVDT transdutor de deslocamento
7. amostra de solo
8. alça de fixação dos LVDTs
9. base
10. suporte central
11. célula triaxial
12. estrutura da prensa

Figura 69 - Esquema do primeiro equipamento triaxial de carga repetida do Brasil (Bernucci *et al.*, 2007).



Figura 70 - Equipamento adquirido pelo Projeto de RDT (Via040).

Segundo Bernucci *et al*. (2007), o material a ser ensaiado é compactado nas condições de estado representativas do projeto e obra, com altura de pelo menos duas vezes o diâmetro. Vem-se utilizando normalmente corpos-de-prova de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura para solo, solo-cimento, misturas solo-agregado, etc. e para algumas britas graduadas simples ou tratadas com cimento ou ainda solo-brita-cimento. Dependendo do diâmetro máximo dos agregados, devem ser usados corpos-de-prova de 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura.

De acordo com Medina e Motta (2015), a moldagem de corpos-de-prova de materiais granulares, com certo grau de coesão, pode ser feita compactando-se por impacto em moldes tripartidos verticalmente (Figura 71). Leva-se a amostra para o pedestal, quando, então, se retiram as três partes do molde e coloca-se a membrana. Se o corpo-de-prova de areia ou pedregulho não tiver possibilidade de se manter intacto, o mesmo deve ser preparado sobre a base ou pedestal por vibração ou outro procedimento. O vácuo que se pode aplicar através da placa porosa inferior também serve para verificar a integridade da membrana envolvente.

A moldagem dos corpos-de-prova de materiais coesivos faz-se, quase sempre em moldes tripartidos, por impacto, em várias camadas, obedecendo-se às energias especificadas conforme a camada do pavimento e subleito. É possível também se preparar corpos-de-prova por prensagem estática, de preferência em várias camadas para tentar obter maior uniformidade de massa especifica ao longo da altura do corpo-de-prova.

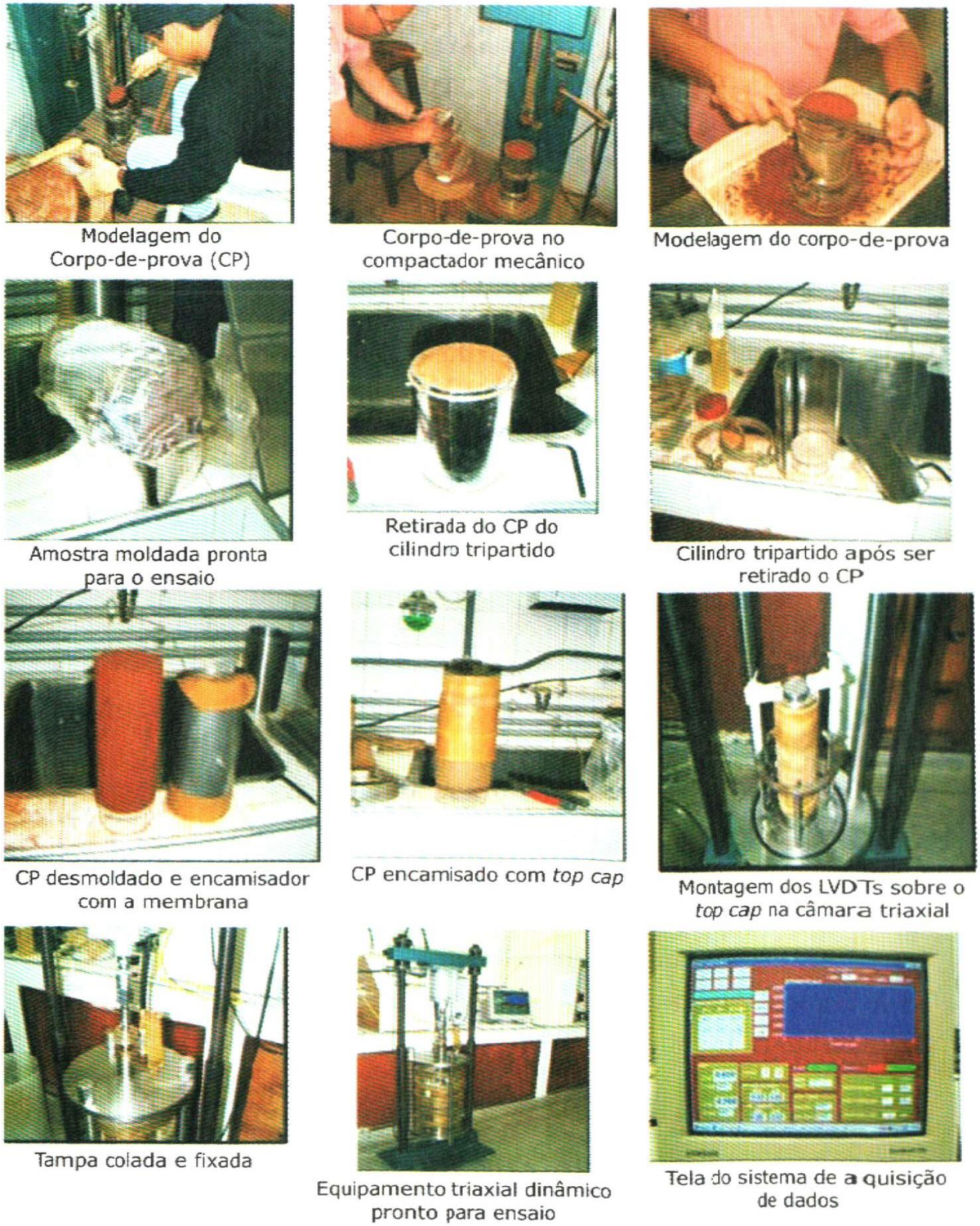


Figura 71 - Passos do ensaio triaxial de cargas repetidas (Medina e Motta, 2015).

As Figuras 72 a 80 apresentam alguns dos passos do ensaio triaxial de cargas repetidas realizados nas amostras de solo das camadas de pavimento da BR-040 no Laboratório de Pavimentação da Via040. As amostras foram moldadas em laboratório com as mesmas características (peso específico, umidade, etc.) do material *in-situ*.



Figura 72 - Preparação da amostra de solo.



Figura 73 - Modelagem do corpo-de-prova.



Figura 74 - Corpo-de-prova no compactador.



Figura 75 - Pesagem do corpo-de-prova em balança de precisão.



Figura 76 - Encamisamento do corpo-de-prova com membrana.



Figura 77 - Corpo-de-prova encamisado, com top cap e suporte dos LVDTs.



Figura 78 - Instalação dos LVDTs no corpo-de-prova.

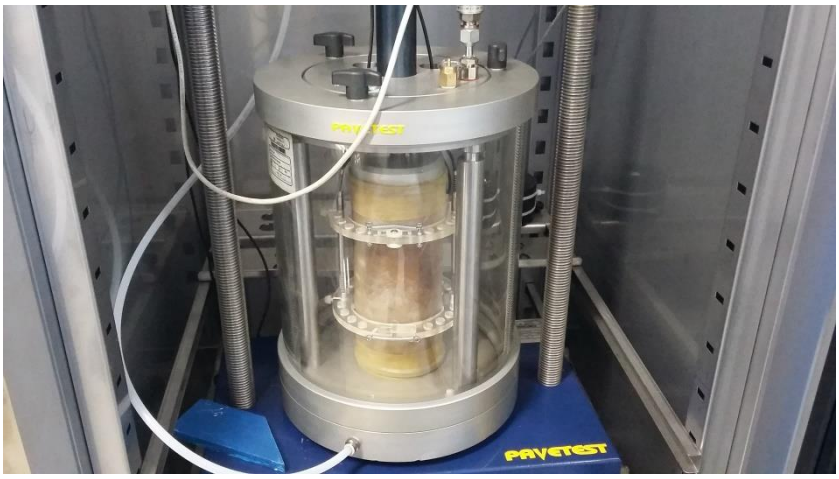


Figura 79 - Equipamento triaxial de carga repetida pronto para ensaio.

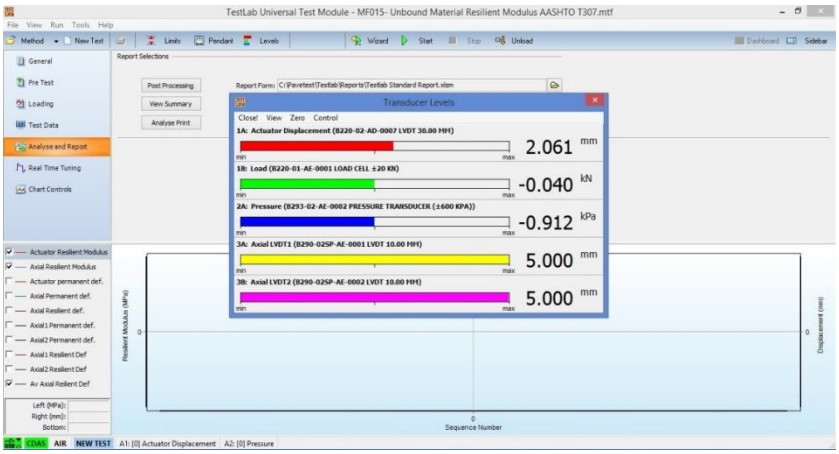


Figura 80 - Tela do sistema de aquisição de dados.

A norma DNIT 134/2010 – ME (Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio) recomenda que antes de iniciar o ensaio propriamente dito de determinação do MR, seja aplicada uma sequência de carregamentos dinâmicos com a finalidade de eliminar as grandes deformações permanentes que ocorrem nas primeiras aplicações de tensão desvio e de reduzir o efeito na história de tensões no valor do módulo de resiliência. A norma sugere, então, que sejam aplicadas 500 repetições para cada combinação de tensão desvio σ_d e pressão confinante σ_3, de acordo com a sequência apresentada na Tabela 31.

Tabela 31 - Sequência de tensões para fase de condicionamento (DNIT 134/2010 – ME)

Tensão Confinante σ_3 (kPa)	Tensão Desvio σ_d (kPa)	Razão de Tensões σ_1 / σ_3
68,9	68,9	2
68,9	206,8	4
102,9	309,0	4

Ressalta-se, entretanto, que a prática mostra que tal fase de condicionamento se apresenta, certas vezes, excessiva, estressando demasiadamente o corpo-de-prova, levando-o à ruptura após poucas sequências de tensões, necessárias para a determinação do módulo de resiliência.

No ensaio triaxial de cargas repetidas, a aplicação de carga é semi-senoidal por se aproximar da forma de carregamento correspondente à passagem de roda. O tempo de duração de aplicação total de carga é de 0,1 segundo e o repouso de 0,9 segundo. São utilizadas diferentes tensões de confinamento σ_3, dada por pressão de ar dentro da célula, e tensões desvio σ_d, aplicadas por célula de carga.

A norma DNIT 134/2010 – ME recomenda a aplicação de 18 pares de tensões desvio e confinante, conforme mostra a Tabela 32. Vale destacar, no entanto, que nem sempre é possível realizar toda essa sequência, pois o corpo-de-prova pode romper antes disso. O módulo de resiliência para cada par de tensões é obtido a partir do valor médio dos últimos 5 ciclos de carregamento, de um total mínimo de 10 repetições.

Tabela 32 - Sequência de tensões para determinação do módulo de resiliência (DNIT 134/2010 – ME)

σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	σ_1/σ_3
20,7	20,7	2
	41,4	3
	62,1	4
34,5	34,5	2
	68,9	3
	102,9	4
50,4	50,4	2
	102,9	3
	155,2	4
68,9	68,9	2
	137,9	3
	206,8	4
102,9	102,9	2
	206,8	3
	309,0	4
137,9	137,9	2
	274,7	3
	412,0	4

A Figura 81(a) mostra de forma esquemática as tensões aplicadas ao corpo-de-prova no carregamento; no repouso, restam apenas as tensões de confinamento, sendo retirada a tensão desvio σ_d, que é a diferença entre as tensões principais maior e menor, respectivamente representadas por σ_1 e σ_3. Uma combinação variada de tensões é normalmente aplicada. A Figura 81(b) representa os deslocamentos do corpo-de-prova durante ciclos de repetição de carga. Uma parcela se refere ao deslocamento recuperável e a outra à acumulada ou permanente. É desejável que os deslocamentos permanentes sejam de pequena magnitude. Os deslocamentos são medidos

por transdutores mecânicos eletromagnéticos (*linear variable differential transducers*, LVDT), ao longo de uma determinada altura ou espessura (L) do corpo-de-prova (Bernucci *et al.*, 2007).

O Módulo de resiliência (MR), em MPa, é o módulo elástico obtido em ensaio triaxial de carga repetida cuja definição é dada pela expressão:

$$MR = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r}$$

$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ = tensão desvio aplicada repetidamente no eixo axial, MPa;

σ_1 = tensão principal maior, MPa;

σ_3 = tensão principal menor ou tensão de confinamento, MPa;

ε_r = deformação específica axial resiliente (recuperável), mm/mm;

Sendo:

$\varepsilon_r = \frac{\delta_r}{L}$, ou seja, deslocamento recuperável (δ_r) pela altura ou espessura (L) do corpo-de-prova submetido às tensões.

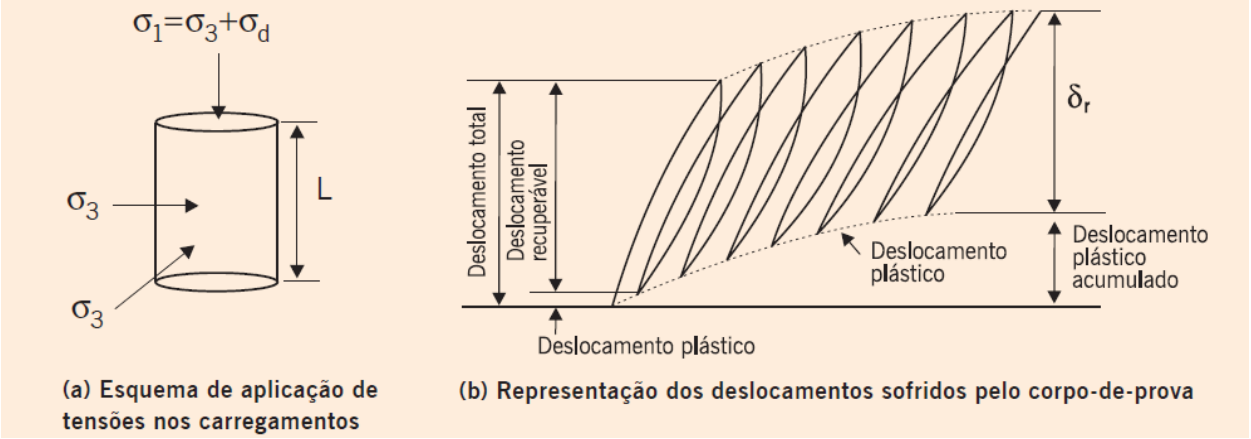


Figura 81 - Tensões aplicadas e deslocamentos no ensaio de carga repetida (Bernucci *et al.*, 2007).

O procedimento detalhado da preparação do corpo-de-prova, colocação na prensa e realização do ensaio triaxial está ilustrado na Figura 28 e pode ser sistematizado nos seguintes passos (Medina e Motta, 2015).

1. Após a compactação, mede-se a massa do corpo-de-prova, ainda dentro do molde, descontando-se a massa do molde tripartido.

2. Coloca-se o corpo-de-prova (CP) sobre a pedra porosa, ainda envolvida pelo molde cilíndrico tripartido.

3. Retiram-se as braçadeiras; desmoldam-se as três partes do cilindro.

4. Coloca-se o cabeçote sobre o CP.

5. Com auxilio do encamisador, envolve-se o CP com a membrana de borracha.

6. Colocam-se elásticos envolvendo a membrana na altura do cabeçote.

7. Coloca-se o CP sobre a base da célula triaxial.

8. Colocam-se elásticos envolvendo a membrana na altura da base da célula triaxial.

9. Fixam-se os LVDTs ao cabeçote.

10. Coloca-se o cilindro da célula triaxial.

11. Colocam-se as hastes de fixação da tampa da célula triaxial.

12. Assenta-se a tampa da célula triaxial, prendendo-a as respectivas hastes.

13. Coloca-se a conexão da haste ao pistão de carga.

14. Encaixam-se os mangotes de ar comprimido para a aplicação das tensões desvio e confinante.

15. Libera-se o ar comprimido.

16. Liga-se o sistema de aquisição e reprodução de dados.

17. Faz-se o ajuste fino dos LVDTs, com o auxilio das hastes rosqueadas, dentro do intervalo de voltagem para a leitura dos deslocamentos.

18. Inicia-se a fase de condicionamento, com aplicação de 500 pulsos de carga em três estágios de aplicação de tensão desvio e confinante.

19. Após o condicionamento, ajustam-se novamente os transdutores e inicia-se o ensaio triaxial. Na prática são 18 ciclos de carga, sendo 10 aplicações de carga por ciclo.

20. Após a aplicação do ultimo ciclo de carga, verificam-se os valores e os gráficos diretamente no monitor e, caso todos os ponto tenham sido computados ou nenhuma anomalia verificada, o ensaio pode ser considerado terminado.

21. Retiram-se o corpo-de-prova (CP) da câmara; coloca-se CP numa cuba metálica; verifica-se a massa do CP imediatamente após o ensaio; coloca-se o CP em estufa para secagem.

22. Após a verificação da constância de massa do CP em estufa e, conhecido o volume do mesmo e a massa da cuba metálica, calcula-se o teor de umidade de ensaio do CP.

Define-se módulo resiliente ou módulo de resiliência, MR, no ensaio triaxial de cargas repetidas pela equação:

$$MR = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_1}$$

onde, σ_d é a tensão desvio ($\sigma_1 - \sigma_3$) e ε_1 ou ε_r é a deformação resiliente axial (vertical):

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0}$$

onde: Δh é o deslocamento vertical máximo e h_0 é a altura inicial de referencia do corpo-de-prova cilíndrico, correspondente ao posicionamento e fixação dos LVDTs.

As tentativas de classificação de solos quanto à resiliência e de correlação de suas propriedades elásticas com suas propriedades geotécnicas tradicionalmente utilizadas em pavimentação vêm sendo feitas praticamente desde os primeiros estudos de deformabilidade elástica destes materiais.

Os primeiros modelos de módulo de resiliência de solo em função do estado de tensões que foram observados no Brasil estão indicados na Figura 82. Os dois primeiros modelos arenoso e argiloso são historicamente os que se encontram em trabalhos pioneiros como na tese de Hicks (1970) e no documento do Transportation Research Board (1975).

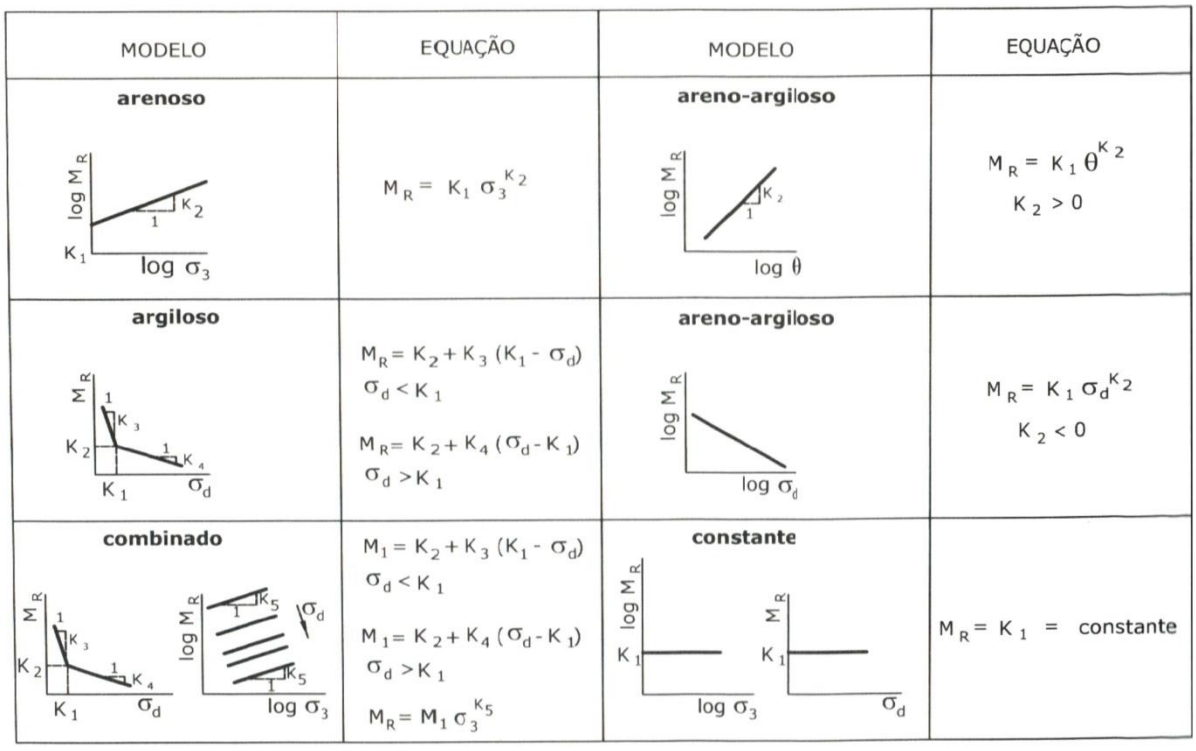


Figura 82 - Primeiros modelos de comportamento tensão-deformação de solos em ensaios triaxiais de cargas repetidas, observados no Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ (Medina e Motta, 2015).

No Brasil, o primeiro esboço de classificação de solos quanto ao seu comportamento resiliente foi feito por Medina e Preussler (1980), com base nos resultados de ensaios triaxiais de cargas

repetidas realizados na COPPE/UFRJ no período de 1977 a 1980. A Tabela 33 apresenta os critérios de enquadramento definidos por Medina e Preussler (1980) e a Tabela 34 os valores típicos encontrados de MR para materiais granulares e de sub-leito.

Tabela 33 - Características Resilientes de Solos Brasileiros (Medina e Preussler, 1980).

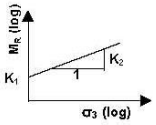
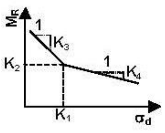
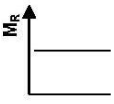
% que passa na peneira 200 (0,074mm); finos	Granulo-metria	Características Físicas (%)				Classe		Modelo $M_R=s(\sigma_3, \sigma_d)$	K	Avaliação como camada de pavimento e subleito
		LL	IP	CBR	EXP.	TRB	USCS			
Menos de 50%: Solos Arenosos	Graduada (Faixa A)	<45	≤14	>20	< 0,5	A–1–b e A-2	SM e SC		K1=4000 K2=0,90	Resiliência Média. Se K2 < 0,5 e compactado no proctor modificado: Bom para camadas do pavimento
										Se K2 < 0,5, espessura menor que 40 cm, acima de subleito de CBR > 10: Bom em camada do pavimento
	Uniforme (Faixa B)					A–3	SM		K_1 = 9500 K_2 = 0,75	Resiliência Pequena. Em camadas de base e subbase: Muito bom.
						A–2–6	SC		K_1= 2800 K_2=0,34	
						A–2–4	SM		K_1= 2600 K_2= 0,52	
	Intermediária a Uniforme	NL	NP	<10	≥2	A–4 A–2–4	SM		K_1=330 K_2= 0,52	Resiliência Grande. Não deve ser utilizado em Pavimentos: Muito ruim como subleito (micáceos)
Mais de 50%: Solos Argilosos (Lateríticos)	Silte / Finos < 50%	40 a 60	15 a 30	> 12	–	A-7 e A-6	CL e CH		K_1=0,07 a 0,11 K_2=223 (CBR) – 741 0<K_3<2840 K_4=-200 a –300 (CBR > 10) K_4=0 (CBR < 10) K_2=32+6,6 (CBR) – K_4 (0,2 – K_1)	Como subleito e reforço do subleito: bom; Como subbase: aceitável, às vezes
				≤ 12						Como subleito: médio a ruim; Como reforço do subleito: requer estudos e ensaios especiais
	Silte / Finos > 50%	35 a 60	15 a 20	= 12	–	A-7 e A-6	ML e CL		K_3=K_4=0 M_R=32+6,6 (CBR)	Como camada de pavimento: não utilizar; Como subleito: requer atenção e ensaios especiais

Tabela 34 - Valores típicos de MR para materiais granulares e de subleito (Ferreira, 2008).

Classificação do Material	Faixa de Valores do M_R (psi)	Valores Típicos de M_R (psi)	Valores Típicos de M_R (MPa)
A-1-a	38.500 – 42.000	40.000	287
A-1-b	35.500 – 40.000	38.000	272
A-2-4	28.000 – 37.500	32.000	229
A-2-5	24.000 – 33.000	28.000	201
A-2-6	21.500 – 31.000	26.000	186
A-2-7	21.500 – 28.000	24.000	172
A-3	24.500 – 35.500	29.000	208
A-4	21.500 – 29.000	24.000	172
A-5	17.000 – 25.500	20.000	143
A-6	13.500 – 24.000	17.000	122
A-7-5	8.000 – 17.500	12.000	86
A-7-6	5.000 – 13.500	8.000	57
CH	5.000 – 13.500	8.000	57
MH	8.000 – 17.500	11.500	82
CL	13.500 – 24.000	17.000	122
ML	17.000 – 25.500	20.000	143
SW	28.000 – 37.500	32.000	229
SP	24.000 – 33.000	28.000	201
SW-SC	21.500 – 31.000	25.500	183
SW-SM	24.000 – 33.000	28.000	201
SP-SC	21.500 – 31.000	25.500	183
SP-SM	24.000 – 33.000	28.000	201
SC	21.500 – 28.000	24.000	172
SM	28.000 – 37.500	32.000	229
GW	39.500 – 42.000	41.000	294
GP	35.500 – 40.000	38.000	272
GW-GC	28.000 – 40.000	34.500	247
GW-GM	35.500 – 40.500	38.500	276
GP-GC	28.000 – 39.000	34.000	244
GP-GM	31.000 – 40.000	36.000	258
GC	24.000 – 37.500	31.000	222
GM	33.000 – 42.000	38.500	276

VI.17.2 - ANÁLISE DOS ENSAIOS TRIAXIAIS DE CARGA REPETIDA

Os ensaios triaxiais de carga repetida realizados em amostras das camadas de pavimento das unidades de amostragem seguiram as orientações da norma DNIT 134/2010 – ME. Para cada par de tensões, desvio e confinante, foram realizados 15 ciclos de carga e descarga, sendo utilizados os últimos 5 ciclos para obtenção do MR de cada sequência. A Figura 83 apresenta, a título de exemplo, os últimos 5 ciclos de carga e descarga da 2ª sequência de tensões do ensaio triaxial de carga repetida da sub-base da UA-9.

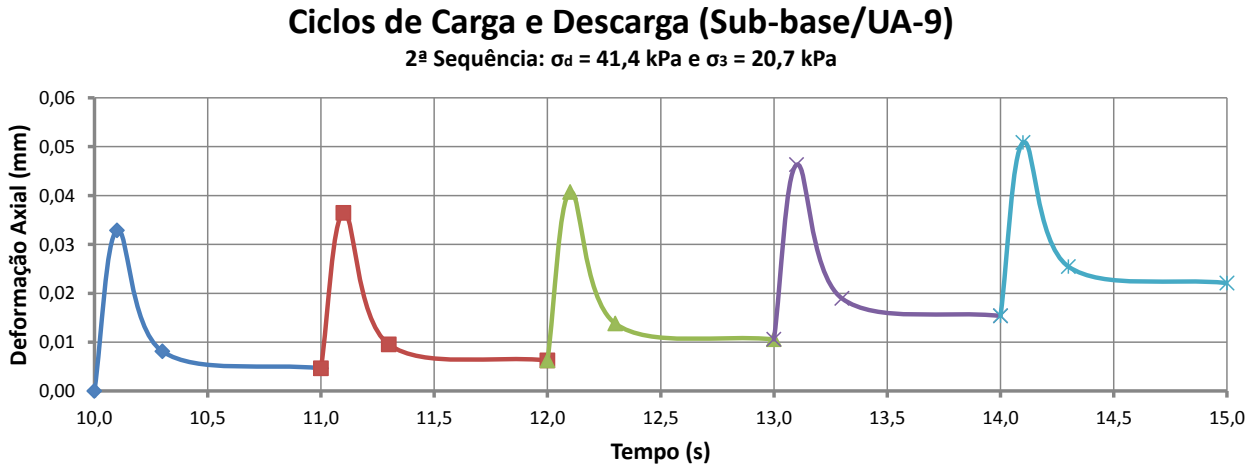


Figura 83 – Ciclos de carga e descarga utilizados na determinação do MR da 2ª sequência de tensões da sub-base da UA-9.

Nos anexos, apresenta-se de forma detalhada as informações referentes aos ensaios triaxiais de carga repetida realizados.

Conforme explicam Medina e Motta (2015), não sendo os solos e britas materiais elásticos lineares, não se aplicam as expressões da lei de Hooke generalizada. Os módulos de resiliência dos solos dependem do estado de tensões atuante – as decorrentes do peso próprio mais as tensões causadas pelas cargas dos veículos. O que se procura determinar nos ensaios triaxiais é a relação experimental:

$$MR = f(\sigma_3, \sigma_d)$$

para as condições de densidade, umidade e grau de saturação que o solo apresenta *in situ*.

A deformação resiliente pode ser vista no nível microscópico como deformação elástica das partículas do solo e dos aglomerados de partículas. A microestrutura floculada das argilas a baixos teores de umidade, seja no arranjo bordo-face das partículas (argila caulinítica comum nos solos tropicais) pode dispersar-se parcial e reversivelmente para as pequenas deformações

que se mantêm muito aquém da ruptura plástica. Minerais de solo em forma de plaqueta – as micas – de solos saprolíticos também contribuem para a deformabilidade resiliente. A deformação plástica de sistema particulado com poros não saturados resulta de escorregamentos nos contatos dos grãos e acomodações irreversíveis de partículas pequenas nos poros de partículas maiores.

Medina e Motta (2015) explicam, ainda, que o módulo de resiliência depende da natureza e constituição do solo, das condições de estado e das solicitações das tensões. O primeiro item refere-se à constituição mineralógica, textura das partículas, plasticidade da fração fina, arranjo estrutural das partículas e elos de cimentação natural. As condições de estado são a massa específica aparente e a umidade. As solicitações de tensão, aplicadas repetidamente, procuram representar a ação do tráfego numa estrutura de pavimento.

Mantendo-se os demais parâmetros sob especificação, para cada solo o módulo de resiliência poderá ser expresso como uma função do estado de tensões aplicado durante o ensaio, por meio de modelos matemáticos com constantes experimentais.

A partir dos resultados dos ensaios realizados nas amostras das UAs foram avaliados os seguintes modelos matemáticos:

- Modelo 1:

$$MR = k_1 \sigma_d^{k_2}$$

- Modelo 2:

$$MR = k_1 \sigma_3^{k_2}$$

- Modelo 3:

$$MR = k_1 \theta^{k_2}$$

onde k_1 e k_2 são constantes experimentais, σ_d é a tensão desvio, σ_3 é a tensão confinante e θ, no caso de compressão triaxial, é dado pela soma $\theta = \sigma_1 + 2\sigma_3 = \sigma_d + 3\sigma_3$.

Conforme apresentado nas Figuras 84 a 89, para os solos ensaiados, foram avaliados os três modelos matemáticos apresentados anteriormente, os quais relacionam o MR com as tensões atuantes.

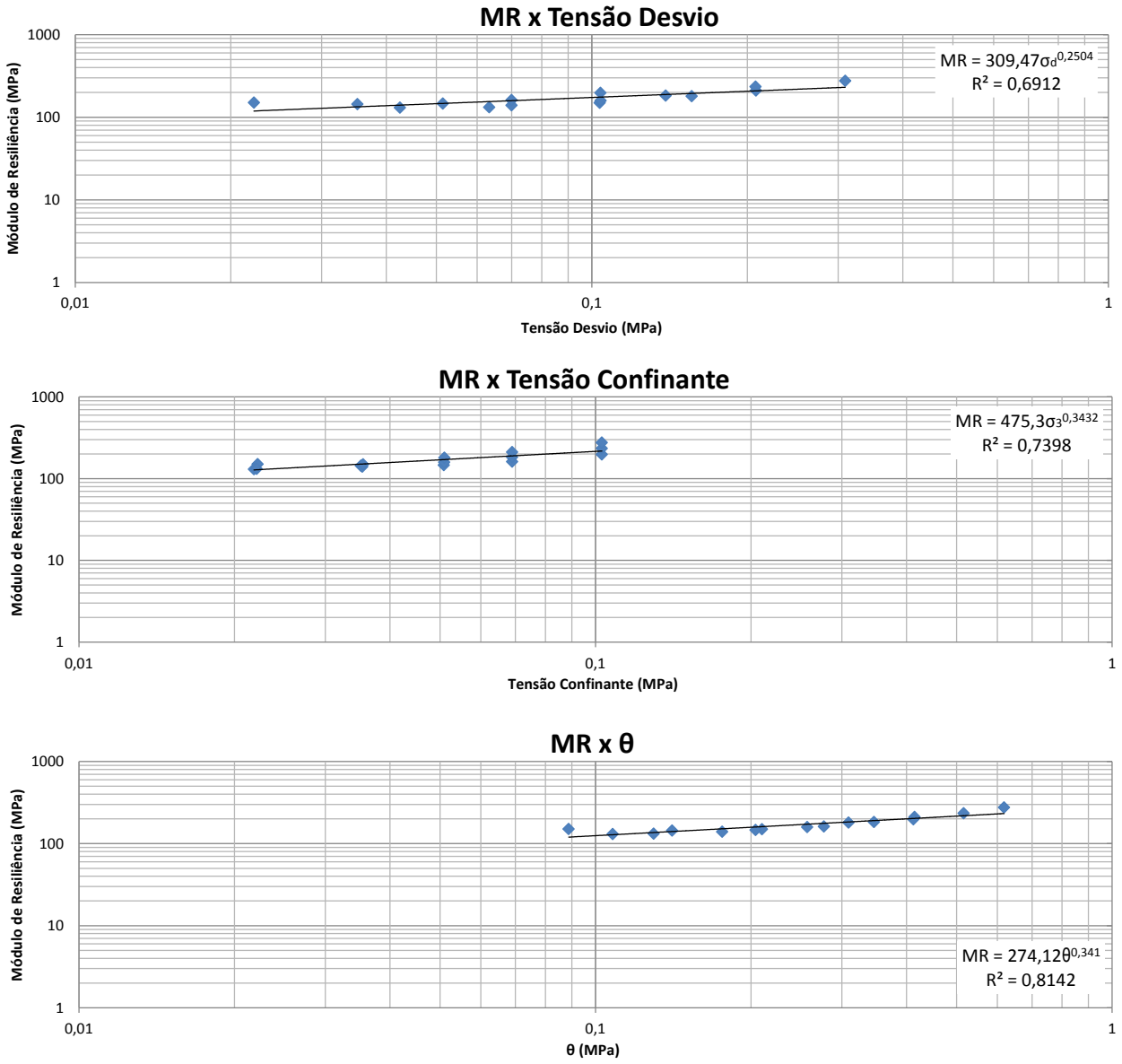


Figura 84 - Modelos de comportamento tensão-deformação avaliados a partir dos resultados do ensaio triaxial de carga repetida no material da base da UA-5 (escala log x log).

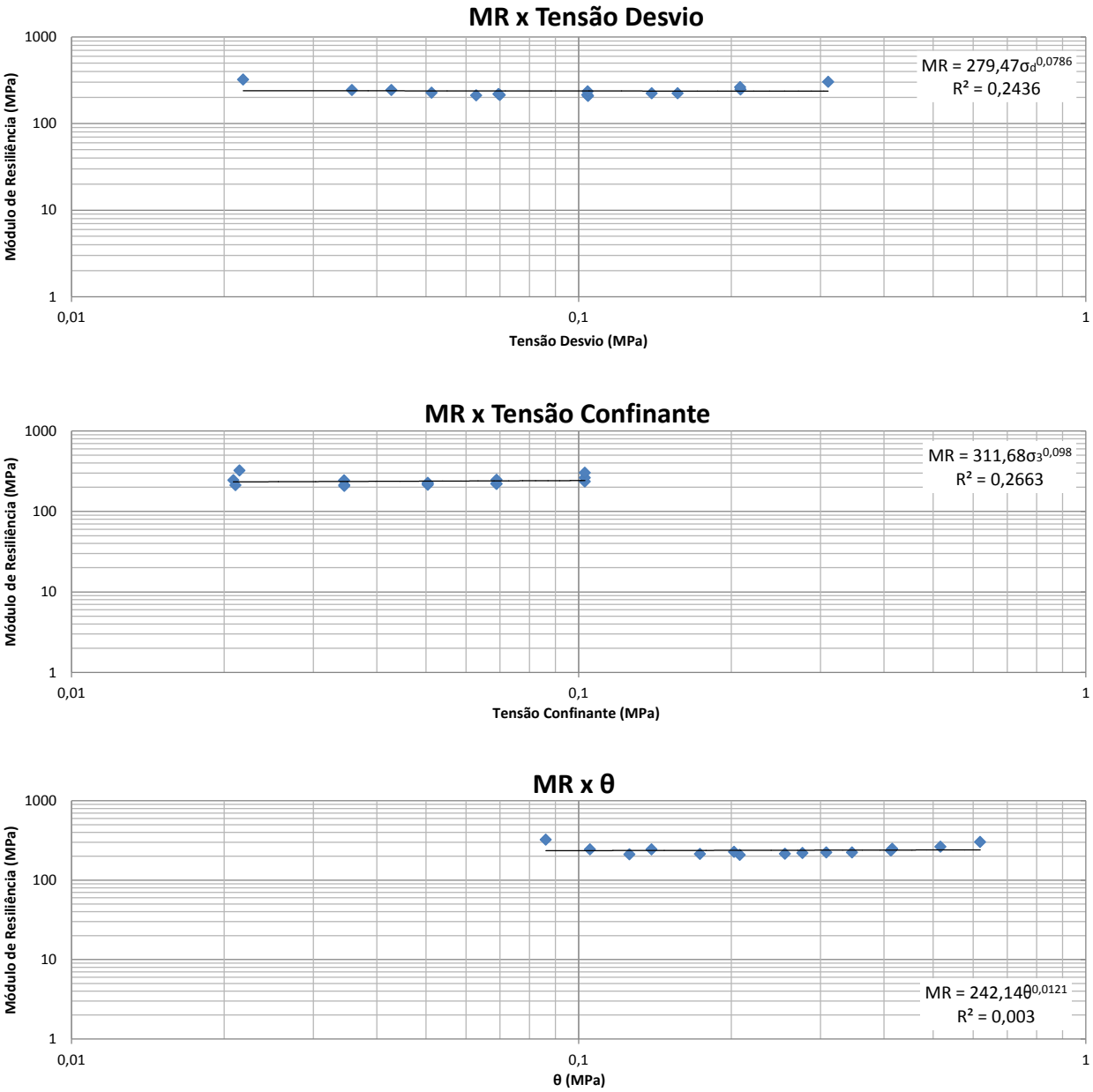


Figura 85 - Modelos de comportamento tensão-deformação avaliados a partir dos resultados do ensaio triaxial de carga repetida no material da sub-base da UA-5 (escala log x log).

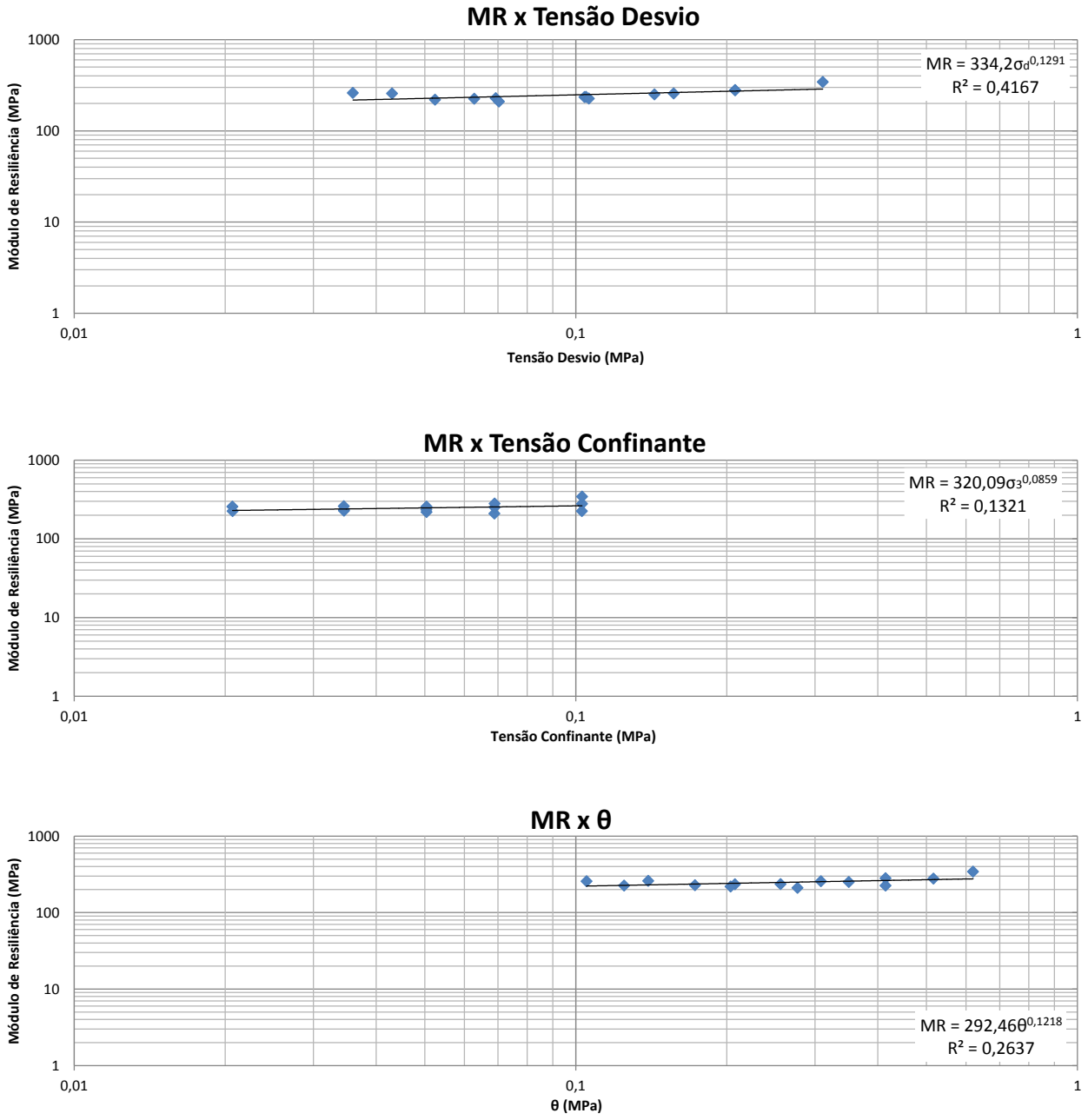


Figura 86 - Modelos de comportamento tensão-deformação avaliados a partir dos resultados do ensaio triaxial de carga repetida no material da sub-base da UA-7 (escala log x log).

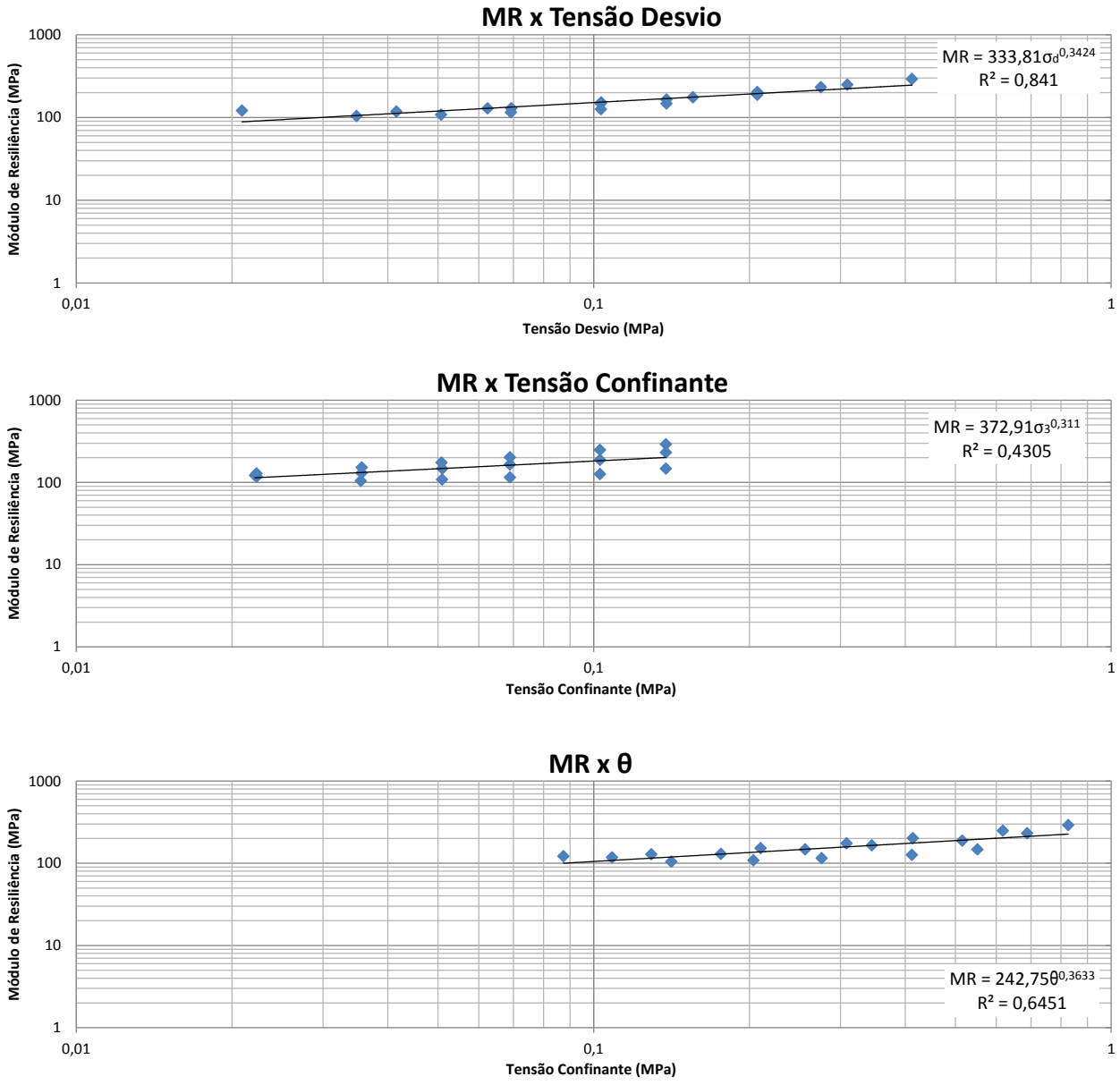


Figura 87 - Modelos de comportamento tensão-deformação avaliados a partir dos resultados do ensaio triaxial de carga repetida no material da base da UA-9 (escala log x log).

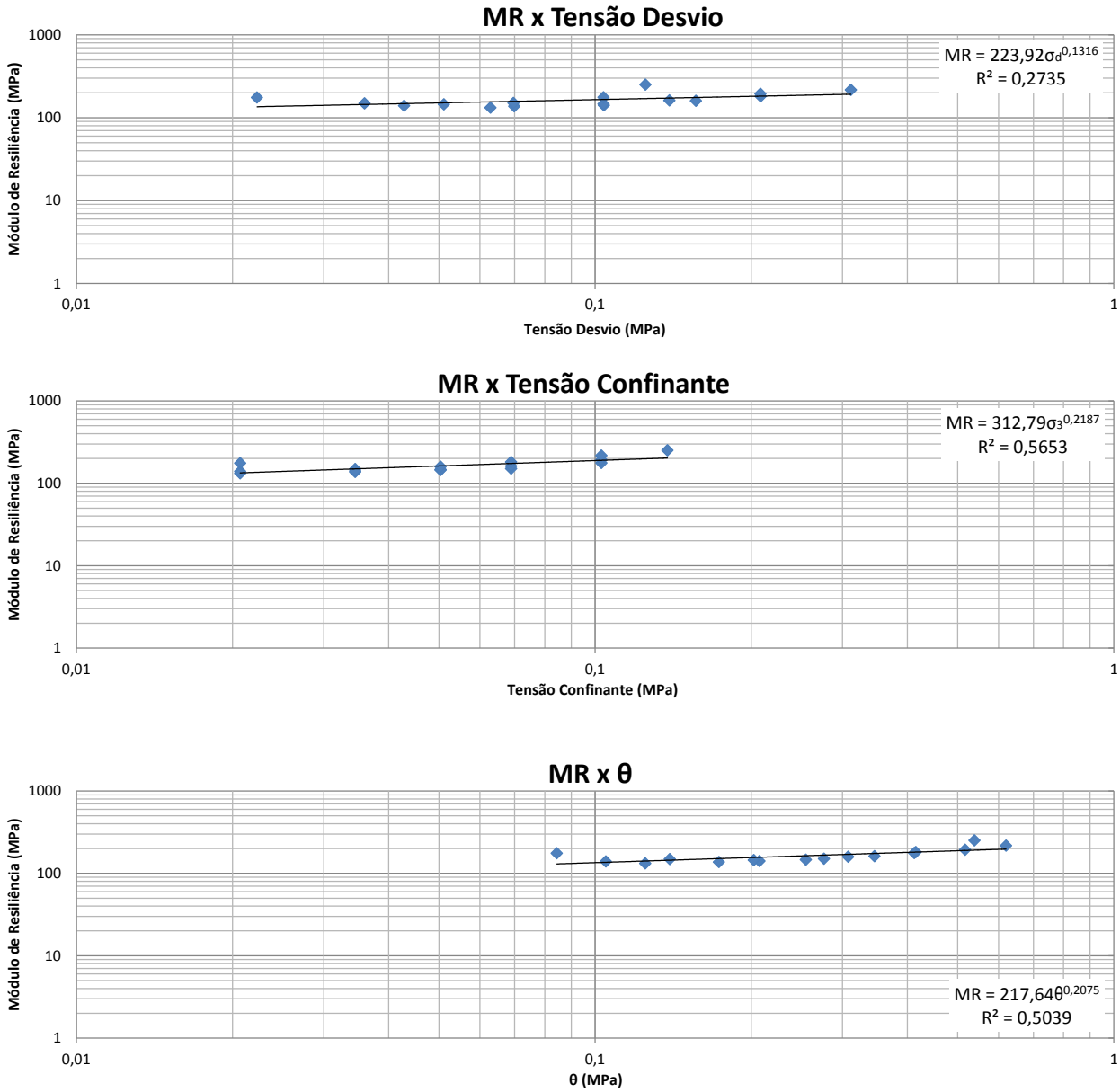


Figura 88 - Modelos de comportamento tensão-deformação avaliados a partir dos resultados do ensaio triaxial de carga repetida no material da sub-base da UA-9 (escala log x log).

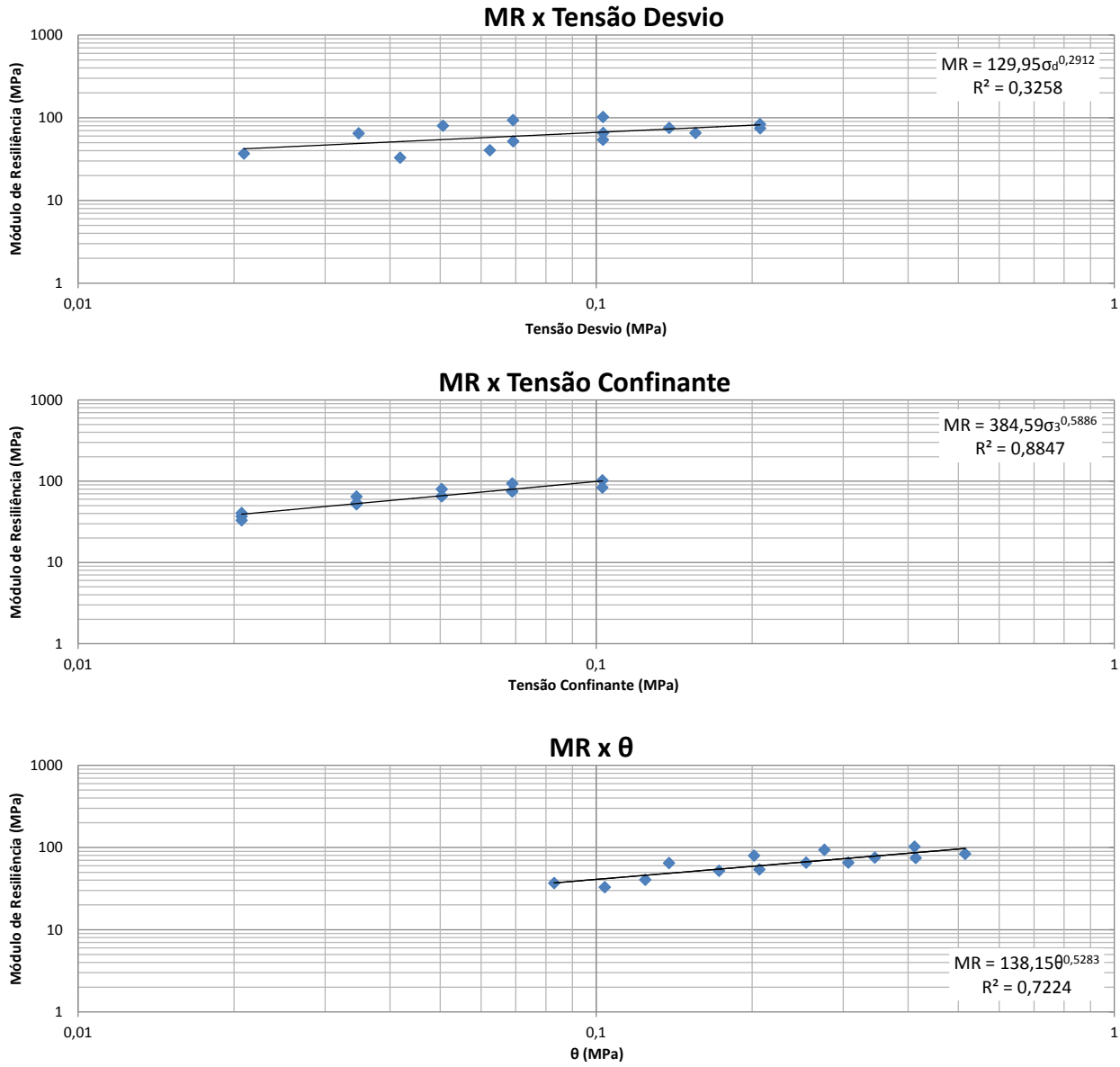


Figura 89 - Modelos de comportamento tensão-deformação avaliados a partir dos resultados do ensaio triaxial de carga repetida no material da sub-leito da UA-9 (escala log x log).

A Tabela 35 apresenta um resumo das equações obtidas a partir dos modelos de comportamento tensão-deformação avaliados, juntamente com o valor do coeficiente de determinação R^2, que varia de 0 a 1. As equações, assim como o R^2, foram definidas com auxílio de um editor de planilha eletrônica. Quanto maior o valor de R^2, mais explicativo é o modelo, ou seja, mais a função avaliada se ajusta aos valores obtidos no ensaio. Dessa forma, considerou-se mais adequado o modelo, dentre os três avaliados, que apresentou o maior valor de R^2. Os modelos mais adequados para cada amostra foram destacados na Tabela 35.

Tabela 35 - Modelos de comportamento tensão-deformação avaliados.

Ensaios Triaxiais de Carga Repetida							
UA	Camada	Modelos de Comportamento Tensão-Deformação					
		Tensão Desvio (σ_d)	R^2	Tensão Confinante (σ_3)	R^2	$\theta = \sigma_1 + 3\sigma_3$	R^2
5	Base	$MR = 309{,}47\sigma_d^{0{,}2504}$	0,69	$MR = 475{,}30\sigma_3^{0{,}3432}$	0,74	$MR = 274{,}12\theta^{0{,}3410}$	0,81
	Sub-base	$MR = 279{,}47\sigma_d^{0{,}0786}$	0,24	$MR = 311{,}68\sigma_3^{0{,}0980}$	0,27	$MR = 242{,}14\theta^{0{,}0121}$	0,00
7	Base	$MR = 334{,}20\sigma_d^{0{,}1291}$	0,42	$MR = 329{,}09\sigma_3^{0{,}0859}$	0,13	$MR = 292{,}46\theta^{0{,}1218}$	0,26
9	Base	$MR = 333{,}81\sigma_d^{0{,}3424}$	0,84	$MR = 372{,}91\sigma_3^{0{,}3110}$	0,43	$MR = 242{,}75\theta^{0{,}3633}$	0,65
	Sub-base	$MR = 223{,}92\sigma_d^{0{,}1316}$	0,27	$MR = 312{,}79\sigma_3^{0{,}2187}$	0,57	$MR = 217{,}64\theta^{0{,}2075}$	0,50
	Sub-leito	$MR = 129{,}95\sigma_d^{0{,}2912}$	0,33	$MR = 384{,}59\sigma_3^{0{,}5886}$	0,88	$MR = 138{,}15\theta^{0{,}5283}$	0,72

Conforme a classificação proposta por Medina e Preussler (1980), apresentada na Tabela 3, os materiais das camadas de base das UAs 5, 7 e 9 e de sub-base das UAs 5 e 9 seguiriam modelos de comportamento tensão-deformação nos quais o MR dependeria apenas da tensão confinante (σ_3). Já para a camada de subleito da UA 9, essa classificação indicaria um modelo de comportamento tensão-deformação bilinear dependente apenas da tensão desvio (σ_d). A Tabela 36 indica a classificação H.R.B. de cada material ensaiado.

Os ensaios triaxiais de carga repetida nos materiais de sub-base das UAs 5 e 9 de fato indicaram melhor correlação para o modelo onde o MR depende apenas de σ_3, ou seja, apresentou maior valor de R^2 para este caso. O material do subleito da UA 9 também teve boa correlação com esse modelo. Os ensaios nos materiais de base das UAs 7 e 9, por sua vez, mostraram uma melhor aproximação com o modelo dependente apenas de σ_d. Já o material da base da UA 5 apresentou um maior valor de R^2 para o modelo no qual o MR depende de θ, ou seja, de σ_d e σ_3 simultaneamente.

Pode-se ainda avaliar a faixa de valores de MR observada nos ensaios realizados. Ferreira (2008) apresenta faixas de valores típicos de MR de acordo com a classificação do material (Tabela 4). A Tabela 36 apresenta uma comparação entre a faixa de valores obtidas nos ensaios e a faixa de valores proposta por Ferreira (2008).

Tabela 36 - Comparação da faixa de valores de MR obtidos nos ensaios.

Ensaios Triaxiais de Carga Repetida							
UA	Camada	MR de Ensaio (MPa)		Classificação H.R.B.	Faixa de Valores do MR (Ferreira, 2008) - (MPa)		
		Menor	Maior				
5	Base	130,4	275,9	A-2-4	193,1	-	258,6
	Sub-base	207,9	322,6	A-2-6	148,2	-	213,7
7	Base	71,0	388,3	A-1-b	244,8	-	275,8
9	Base	104,4	292,0	A-1-b	244,8	-	275,8
	Sub-base	132,3	250,7	A-2-4	193,1	-	258,6
	Sub-leito	32,9	102,0	A-6	93,1	-	165,5

Verifica-se que os valores de MR obtidos nos ensaios se aproximam razoavelmente do que foi apresentado por Ferreira (2008), de tal forma que, em todos os ensaios realizados, as faixas de valores apresentam trechos coincidentes.

VI.17.3 - MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE MISTURAS ASFÁLTICAS

O ensaio de módulo de resiliência (MR) em misturas asfálticas é realizado aplicando-se uma carga repetida no plano diametral vertical de um corpo-de-prova cilíndrico. Essa carga gera uma tensão de tração transversalmente ao plano de aplicação da carga. Mede-se então o deslocamento diametral recuperável na direção horizontal correspondente à tensão gerada, numa dada temperatura. Os corpos-de-prova cilíndricos, moldados no compactador Marshall, possuindo 100 mm de diâmetro e 63,5 mm de altura, ou extraídos de pista ou de amostras de maiores dimensões com 100 mm de diâmetro e altura entre 35 mm e 65 mm.

O carregamento diametral, representado esquematicamente na Figura 90, gera um estado biaxial de tensões, esquematicamente representado na Figura 31, que é governado pela Equação:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{MR}(\sigma_x - \mu\sigma_y)$$

Onde:

ε_x = deformação de tração no diâmetro horizontal;

σ_x = tensão horizontal;

σ_y = tensão vertical;

μ = coeficiente de Poisson;

MR = módulo de resiliência.

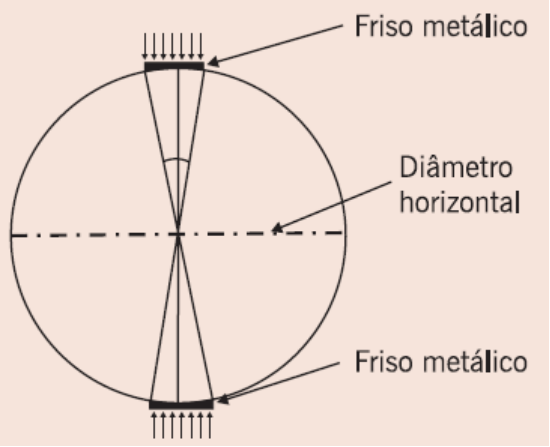


Figura 90 - Esquema de carregamento do ensaio de compressão diametral para determinação do MR (Bernucci *et al.*, 2007).

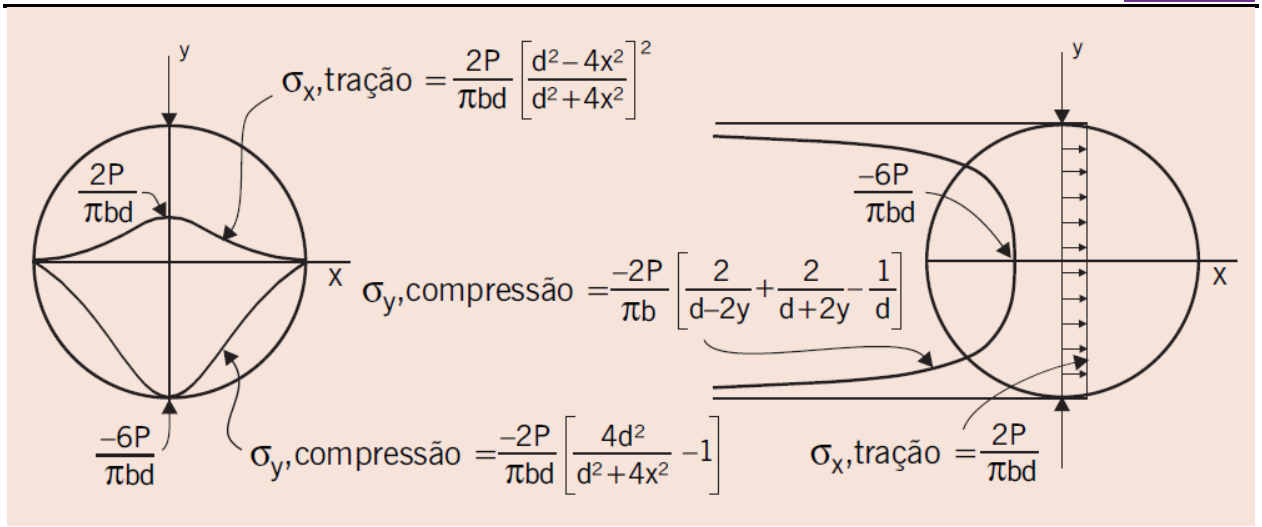


Figura 91 - Estado biaxial de tensões (Bernucci *et al.*, 2007).

De acordo com Bernucci *et al.* (2007), nas misturas asfálticas o coeficiente de Poisson pode ser considerado independente do tipo de carregamento, variando apenas com a temperatura. O seu valor varia entre 0,35 para baixas temperaturas e 0,50 para altas temperaturas. No Brasil comumente se assume o valor de 0,30.

Uma das normas brasileiras atuais referentes ao ensaio de módulo de resiliência de misturas asfálticas é a DNIT 135/2010 – ME. Esta norma cancela e substitui a norma DNER-ME 133/94. Ponte *et al.* (2014) ressalta que a norma mais atual apresenta baixa especificidade em relação a diversos parâmetros de ensaio, por exemplo: número de ciclos utilizados na fase de pré-condicionamento, número de ciclos utilizados na fase de condicionamento, escolha dos ciclos utilizados para o cálculo do MR, período de estabilização da temperatura de ensaio, entre outros. A baixa especificidade desses diversos parâmetros deixam muitas decisões a cargo do operador, podendo impactar os resultados obtidos. Outra norma brasileira disponível é a ABNT NBR 16018/2011. Esta norma se encontra em alinhamento com as recomendações das principais normas internacionais.

Ponte *et al.* (2014) apresentam uma comparação entre as normas vigentes no Brasil e algumas internacionais. Na parte experimental, feita com os métodos brasileiros, não foram obtidas grandes diferenças entre os valores de MR para três misturas asfálticas, de tal forma que não houve impacto no cálculo das tensões de uma estrutura de pavimentos analisada numericamente. Um resumo da comparação entre as duas principais normas brasileiras será visto mais a frente.

A seguir, de forma sucinta, são apresentados os equipamentos descritos nestas normas e alguns aspectos importantes das condições do ensaio.

Aparelhagem

• Sistema pneumático de carregamento, composto de:

- regulador de pressão para aplicação da carga vertical repetida;

- válvula de transmissão da carga vertical;

- cilindro de pressão e pistão de carga; e

- dispositivo mecânico digital timer para controle do tempo de abertura da válvula e frequência de aplicação da carga vertical.

• Sistema de medição de deslocamento do corpo-de-prova constituído de:

- dois transdutores mecânicos-eletromagnéticos tipo LVDT;

- suporte para fixação dos LVDTs na amostra; e

- oscilógrafo e amplificador com características apropriadas para uso com os transdutores LVDTs.

• Estrutura de suporte com acessórios.

Montagem do conjunto corpo-de-prova, frisos e LVDTs

• posicionar o corpo-de-prova no interior do suporte para fixação dos transdutores;

• colocar o corpo-de-prova na base da estrutura de suporte, entre dois cabeçotes curvos (frisos metálicos);

• fixar e ajustar os transdutores LVDTs;

• observar o perfeito assentamento do pistão de carga e dos cabeçotes no corpo-de-prova.





Figura 92 - Exemplos de equipamento para ensaio de compressão diametral de carga repetida (Bernucci *et al.*, 2007).

A Figura 93 mostra dois arranjos experimentais possíveis para a instalação dos frisos metálicos para a aplicação da carga e colocação dos LVDTs para a medida de deslocamentos recuperáveis, podendo ser arranjo com dois ou apenas um único LVDT.

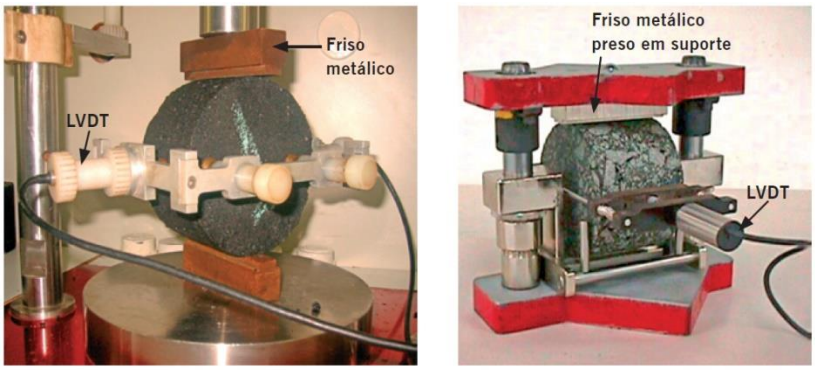


Figura 93 - Exemplos de arranjos experimentais para a colocação dos medidores de deslocamento ao corpo-de-prova para o ensaio de MR (Bernucci *et al.*, 2007).

Condições de ensaio e registros (DNER-ME 133/94)

• Fase de condicionamento do corpo-de-prova:

Aplicar 200 vezes uma carga vertical repetida (P) diametralmente no corpo-de-prova, de modo a se obter uma tensão (σ_t) menor ou igual a 30% da resistência à tração determinada no ensaio de compressão diametral estático. Recomenda-se a aplicação da menor carga (P), capaz de fornecer um registro compatível com a precisão dos conversores analógicos digitais responsáveis pelas leituras dos LVDTs (recomenda-se uma sensibilidade mínima de $2{,}5 \times 10^{-4}$ mm). A frequência de aplicação da carga (P) é de 60 ciclos por minuto, com o tempo de aplicação de carga de 0,10 segundo e, portanto, com 0,90 segundo de repouso ou descarregamento (Figura 94).

• Registro dos deslocamentos lidos pelos LVDTs após 300, 400 e 500 aplicações de carga (P).

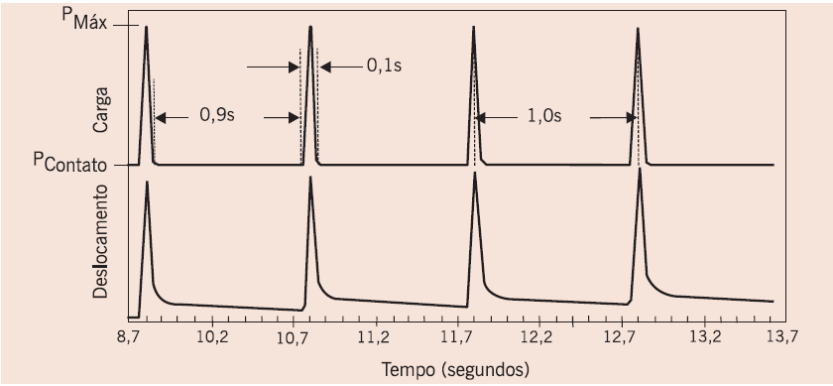


Figura 94 - Duração dos tempos de carregamento e repouso (Bernucci *et al.*, 2007).

Com os valores de carga aplicada e deslocamentos horizontais recuperáveis obtidos é calculado o módulo de resiliência por meio da equação:

$$MR = \frac{P}{\Delta X H}(0{,}9976\mu + 0{,}2692)$$

Onde:

MR = módulo de resiliência, MPa;

= carga vertical repetida aplicada diretamente no corpo-de-prova, N;

Δ = deslocamento elástico ou resiliente registrado para 300, 400 e 500 aplicações da carga (P), mm;

H = altura do corpo-de-prova, mm;

= coeficiente de Poisson.

A norma DNER-ME 133/94 apresenta as seguintes notas:

1. Recomenda-se 0,30 como valor para o coeficiente de Poisson.

2. O modulo de resiliência (MR) do corpo-de-prova ensaiado será a média aritmética dos valores determinados a 300, 400 e 500 aplicações de carga (P).

3. O MR deverá ser determinado na temperatura de 30°C ± 1°C, quando a temperatura de ensaio não for especificada.

Neste procedimento de ensaio, os deslocamentos considerados são os recuperáveis (resilientes). Mesmo nos ensaios conduzidos com níveis de carregamento de 5% da tensão de ruptura ainda são perceptíveis deslocamentos plásticos (deslocamento permanente ilustrado na Figura 95) que não devem ser contabilizados no cálculo do MR (Bernucci *et al.*, 2007). Faz-se para isto um desconto nos deslocamentos lidos através de duas tangentes que passam pelas partes retilíneas do registro deste parâmetro. Na interseção das duas tangentes é que se mede a parcela elástica a ser usada no cálculo do módulo de resiliência.

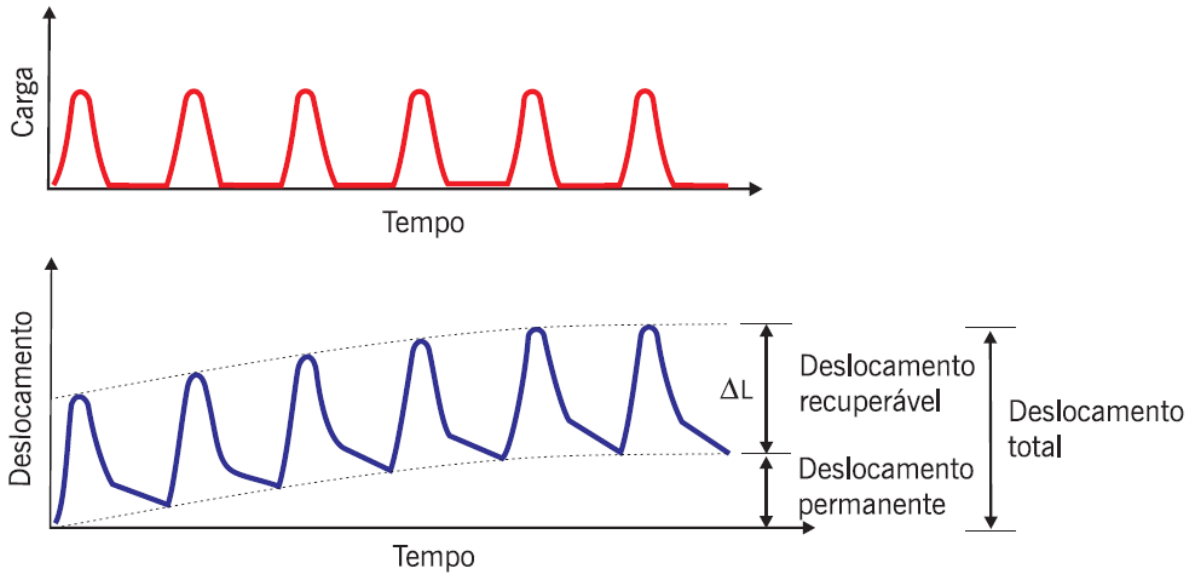


Figura 95 - Parcelas dos deslocamentos resilientes e permanentes registrados durante ensaios de módulo de resiliência (Bernucci *et al.*, 2007).

O módulo de resiliência de misturas asfálticas a quente varia com: o tipo de mistura, o tipo de ligante asfáltico, a faixa granulométrica, as propriedades volumétricas, a energia de compactação, a temperatura de compactação, a temperatura de ensaio, entre outras variáveis. É possível dosar uma mistura asfáltica para se obter um determinado MR, conforme solicitado ou especificado em projeto.

Segundo Bernucci *et al.* (2007), valores típicos, como ordem de grandeza para simples orientação do leitor, podem ser considerados na faixa de 2.000 a 8.000 MPa para concretos asfálticos a 25ºC, sendo os menores correspondentes a misturas com asfaltos modificados por polímeros ou por borracha e os maiores a misturas com asfaltos de consistência dura. Deve-se ainda considerar a influência da distribuição granulométrica e do tamanho máximo de agregado.

Apenas como ilustração, valores médios de módulos de resiliência de diferentes misturas asfálticas já investigadas no país são apresentados na Tabela 37. Outro parâmetro que consta na tabela é a resistência à tração estática. Os valores são dados em MPa e a 25ºC. Na última coluna apresenta-se a razão entre esses parâmetros, que vem sendo usada como um indicador da vida de fadiga de misturas uma vez que agrega informações de rigidez e resistência, sendo mais desejável um valor pequeno da razão, dado que com frequência busca-se:

(i) baixa rigidez para evitar elevada absorção de tensões que levem ao trincamento prematuro do revestimento, e;
(ii) alta resistência à tração, uma vez que em geral uma maior resistência na ruptura é também associada a uma maior resistência à fadiga.

Tabela 37 - Módulos de resiliência (MR) e resistência (RT) de misturas investigadas no país (25°C) (Bernucci *et al.*, 2007).

Características	Faixa (publicação)	MR (MPa)	RT (MPa)	MR/RT
Concreto asfáltico – CAP 30/45 Concreto asfáltico – CAP 50/60 Concreto asfáltico – CAP 85/100	Faixa C (Soares *et al.*, 2000)	3.628 3.033 1.488	1,09 0,89 0,44	3.346 3.425 3.376
Concreto asfáltico – CAP 30/45 Concreto asfáltico – CAP 50/60 Concreto asfáltico – CAP 85/100	Faixa B (Soares *et al.*, 2000)	5.105 4.425 1.654	0,82 0,73 0,21	6.201 6.062 7.755
Misturas densas (moldadas em usina) Concreto asfáltico 1 Concreto asfáltico 2 AAUQ1 AAUQ2	Faixa C (Rede Asfalto, 2005)	 2.651 2.297 1.825 1.683	 0,85 0,67 0,52 0,72	 3.119 3.428 3.510 2.338
Misturas densas (moldadas em laboratório) Concreto asfáltico 1 Concreto asfáltico 2 AAUQ1 AAUQ2	Faixa C (Rede Asfalto, 2005)	 3.609 3.026 1.786 1.682	 1,26 1,23 1,02 0,81	 2.864 2.460 1.751 2.077
SMA – 12,5mm SMA – 9,5mm	(Vasconcelos, 2004)	4.747 3.367	0,98 0,82	4.844 4.106
Concreto asfáltico de referência Com 0% fresado Com 10% fresado Com 30% fresado Com 50% fresado	Faixa C (Lima, 2003)	 3.200 4.776 7.524 8.901	 1,20 1,30 1,30 1,60	 2.667 3.674 5.787 5.663
Concreto asfáltico de referência Asfalto-borracha (úmido) Agregado-borracha (seco)	Faixa C (Pinheiro, 2004)	3.647 2.393 2.452	0,97 0,50 0,80	3.760 4.786 3.065

A Tabela 37 apresenta dados de misturas convencionais densas com diferentes CAPs, concretos asfálticos e AAUQs moldados tanto em usina como em laboratório, misturas com material fresado, misturas em asfalto-borracha – processos seco e úmido, misturas com escória de aciaria, misturas com agregados convencionais e granulometrias descontínuas.

Misturas de módulo elevado podem apresentar MR em média na faixa de 12.000 a 20.000 MPa, e destinam-se exclusivamente à camada de base, caracterizando o comportamento da estrutura como um pavimento semi-rígido do ponto de vista de deformabilidade.

Condições de ensaio e registros (ABNT NBR 16018/2011)

A norma ABNT NBR 16018/2011 recomenda que a carga máxima do ensaio de MR ($P_{máx}$) tenha valor entre 10% e 20% da resistência à tração por compressão diametral. Esse ensaio deve ser realizado de acordo com a ABNT NBR 15087/2012, em pelo menos três corpos-de-prova com as

mesmas características da amostra que será ensaiada. A carga máxima do ensaio de MR será obtida a partir da média aritmética dos valores encontrados nos três ensaios.

Previamente ao ensaio de carga repetida, o corpo de prova deve ser colocado na câmara de temperatura por um período mínimo de 4 h a (25 ± 0,5) °C.

Após o período de condicionamento da temperatura, o corpo-de-prova deve ser colocado no dispositivo de carregamento. Para o seu posicionamento, devem-se utilizar as linhas diametrais marcadas durante o preparo do corpo-de-prova, de modo que ele fique alinhado e centralizado verticalmente entre os frisos de carga. É importante observar se as duas faces do corpo-de-prova estão alinhadas e centralizadas. Na impossibilidade de visualização da face superior da amostra quando posicionada no dispositivo de carregamento, sugere-se a utilização de um espelho para tal verificação.

As superfícies de contato entre os frisos de carga e o corpo-de-prova devem estar bem assentadas, sem imperfeições que reduzam significativamente o seu contato. No caso de depressões ou projeções na superfície do corpo-de-prova que levem a comprimento maior do que 20 mm sem contato ao longo do friso de carga, devem-se buscar novas posições de contato por rotação, onde as superfícies do corpo-de-prova estejam em melhor condição. Neste caso, se a rotação for diferente de 90°, então devem-se marcar novos eixos diametrais de acordo com o item 5.3 da ABNT NBR 16018/2011 e, quando forem utilizados sensores acoplados à face do corpo-de-prova, deve-se proceder a uma nova colagem dos dispositivos de fixação.

Em seguida, devem-se acoplar ao corpo-de-prova os sensores de deslocamento de acordo com as recomendações do fabricante, alinhando-os com os eixos diametrais vertical e horizontal. É preciso, ainda, verificar no sistema de aquisição de dados se as leituras dos sensores estão compatíveis com os deslocamentos esperados durante o ensaio.

O pré-condicionamento do corpo-de-prova pode, então, ser realizado. Aplica-se 50 ciclos de ensaio com duração de 1 s cada ciclo, com carga máxima de ensaio ($P_{máx}$) de valor entre 10% e 20% da resistência à tração por compressão diametral. Durante o pré-condicionamento, é importante acompanhar graficamente, em tempo real, os pulsos de carga, verificando se $P_{máx}$, $P_{contato}$ e os tempos de carregamento programados estão sendo atendidos, além dos pulsos de deslocamento horizontal e vertical (quando for utilizado sensor vertical), verificando se os respectivos gráficos não estão apresentando excessos de ruído ou sinais incompatíveis.

Após o pré-condicionamento do corpo-de-prova, sem interrupção, deve-se aplicar mais 15 ciclos de ensaio, gravando, com taxa de aquisição mínima de 200 pontos por segundo, todos os sinais de carga e deslocamento. O módulo de resiliência e o módulo de carregamento são calculados para cada um dos 15 ciclos de ensaio.

Os valores calculados para os 15 ciclos são processados da seguinte forma:

a) São divididos em três grupos: grupo 1 – dos ciclos 1 ao 5; grupo 2 – dos ciclos 6 ao 10; e grupo 3 – dos ciclos 11 ao 15;

b) Para cada grupo são calculados os valores médios de cada resultado;
c) Caso um dos grupos possua um ou mais resultados individuais com variação maior do que 5% em relação à respectiva média, então tal grupo deve ser desconsiderado (todos os resultados).

Os resultados reportados (módulo de resiliência e módulo de carregamento) devem ser do mesmo grupo, preferencialmente daquele que apresentar as menores variações. Caso nenhum dos grupos apresente variação aceitável, conforme especificado no item (c), o ensaio deve ser repetido, incluindo os ciclos de pré-condicionamento.

DNER-ME 133/94 versus ABNT NBR 16018/2011

As principais recomendações de cada uma das metodologias apresentadas para a realização dos ensaios de obtenção do MR de misturas asfálticas estão resumidas na Tabela 38.

Tabela 38 - Principais recomendações das metodologias apresentadas (Ponte *et al.*, 2014)

Procedimento/ Parâmetro	ABNT NBR 16018 (2011)	DNER ME 133 (1994)
Tipo de carrega-mento	Hidráulico/ Pneumático	Pneumático
Frequência (Hz)	1	1
Ciclos de pré-condicionamento	50	- 200 ciclos ou até a obtenção de registro mensurável no os-cilógrafo - Carregamento máximo→ 30% da RT
Ciclos de condiciona-mento	15	500
Ciclos para o cálculo do MR	15 (divididos em 3 grupos de 5 ciclos cada)	3 (para os ciclos de nº: 300, 400 e 500)
Temperatura (°C)	25	30
Período de estabiliza-ção da temperatura	4 h (mínimo)	Não especifica
Coef. de Poisson	Determinado / Assumido (v = 0,30)	Assumido (v = 0,30)
Cálculo do MR Total	Sim	Não
Cálculo do MR Ins-tantâneo	Sim	Sim

A norma DNER ME 133/1994 não especifica a metodologia para obtenção dos deslocamentos instantâneo e total. A norma ABNT NBR 16018/2011, por sua vez, apresenta metodologia similar à apresentada na norma americana AASHTO TP31/1996, evidenciado o alinhamento dessa norma brasileira em relação às normas internacionais.

A obtenção dos deslocamentos instantâneos e totais para o cálculo do MR é realizada através da subdivisão do pulso de carregamento em: (i) pico de deslocamento, (ii) porção reta do caminho de descarregamento, (iii) porção de recuperação e (iv) uma porção curva que une o caminho de

descarregamento à porção de recuperação. A divisão dessas porções é feita através de regressões lineares e hiperbólicas, tangentes à curva do pulso de deslocamento. Uma explicação mais aprofundada sobre a metodologia da subdivisão do pulso de carregamento e da definição dos deslocamentos instantâneos e totais pode ser encontrada em Bernucci *et al.* (2007). A Figura 96 traz a representação gráfica da subdivisão do pulso de deslocamento durante o ensaio de MR, enquanto a Figura 97 ilustra os deslocamentos instantâneo e total.

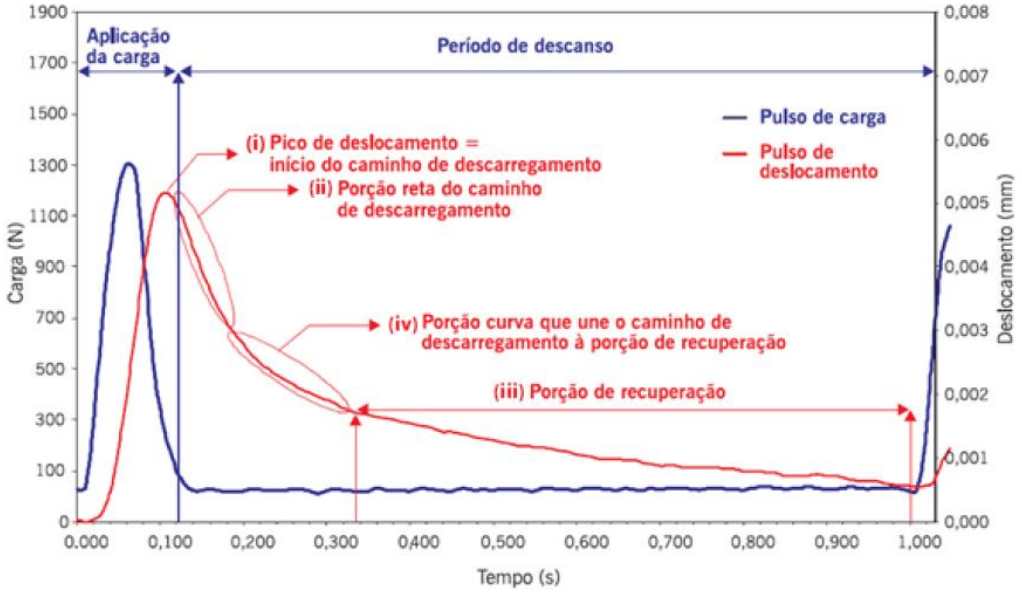


Figura 96 - Divisão do pulso de deslocamento (Ponte *et al.*, 2014 - Adaptado de Bernucci *et al.*, 2007)

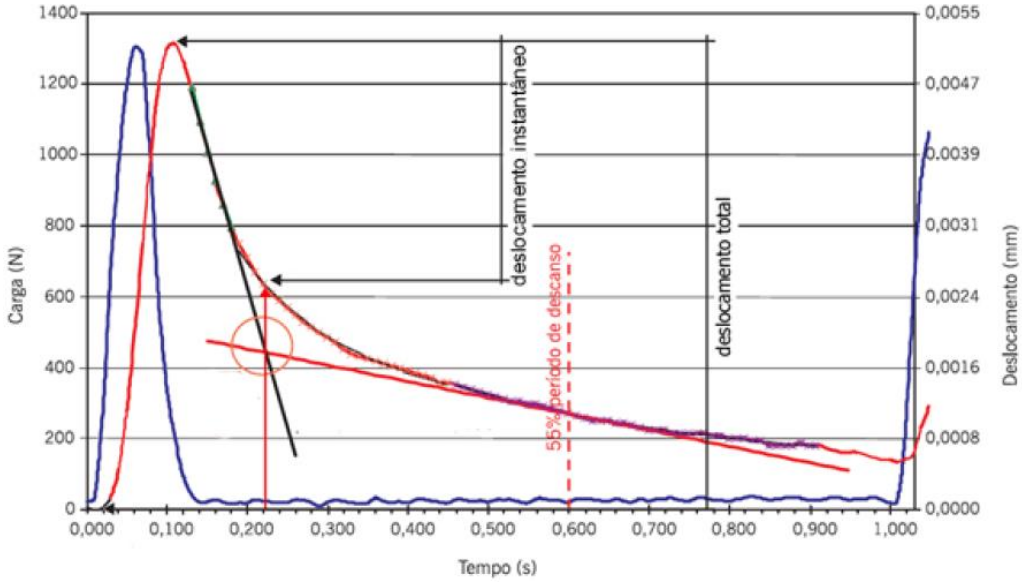


Figura 97 - Definições de deslocamento instantâneo e total para o cálculo do MR para misturas asfálticas (Ponte *et al.*, 2014 - Adaptado de Bernucci *et al.*, 2007)

Conforme relata Ponte *et al.* (2014), dentre as normas nacionais, a ABNT NBR 16018/2011 possui o texto mais específico, sendo a única que descreve os procedimentos para a obtenção dos deslocamentos utilizados para o cálculo do MR, como também traz recomendações para a obtenção do coeficiente de Poisson, tratamento dos dados quando se faz diferentes montagens de LVDTs, incluindo ainda o cálculo do MR total. A elaboração da ABNT NBR 16018/2011 teve como base as principais metodologias internacionais, como a ASTM D 7369/2009 e a EN 12697-26/2003.

A outra norma brasileira em vigor, DNIT ME 135/2010, não traz recomendações para diversos parâmetros de ensaio como: frequência de carregamento, número de ciclos de pré-condicionamento e número de ciclos de condicionamento e período para estabilização da temperatura de ensaio. De acordo com Ponte *et al.* (2014), a utilização dessa norma para a realização do ensaio de MR para misturas asfálticas deixa a cargo do operador decisões sobre parâmetros que podem vir a influenciar os resultados. A comparação, então, foi realizada entre a norma DNER ME 133/1994, precedente da DNIT ME 135/2010, e a ABNT NBR 16018/2011. Dentre as metodologias ensaiadas, a que apresentou melhor consistência foi a ABNT NBR 16018/2011. O trabalho de Ponte *et al.* (2014) mostrou que os resultados provenientes da aplicação desta metodologia apresentaram menor sensibilidade no quesito repetibilidade quanto à mistura ensaiada, como também menor dispersão dos resultados obtidos para cada mistura. Devido a estes fatores, como também, a maior especificidade do texto, os autores recomendam a utilização desta norma para a realização de ensaios de MR para misturas asfálticas no Brasil. Os ensaios de MR em misturas asfálticas realizados na Via040 seguiram, dessa forma, as recomendações da norma ABNT NBR 16018/2011.

As Figuras 98 e 99 mostram a instalação de corpo-de-prova no equipamento e preparação para ensaio de compressão diametral de cargas repetidas realizado em amostras de concreto asfáltico do pavimento da BR-040 no Laboratório de Pavimentação da Via040.

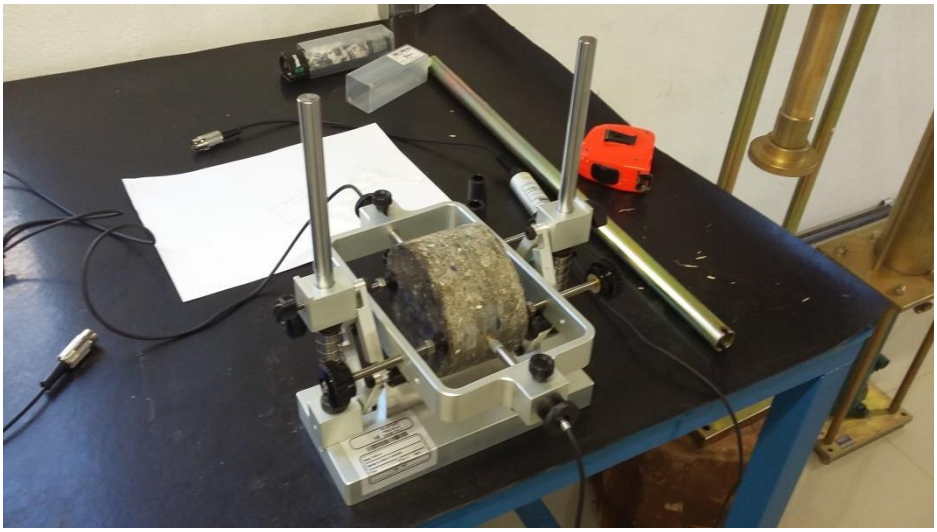


Figura 98 - Ajuste do corpo-de-prova e posicionamento dos LVDTs.

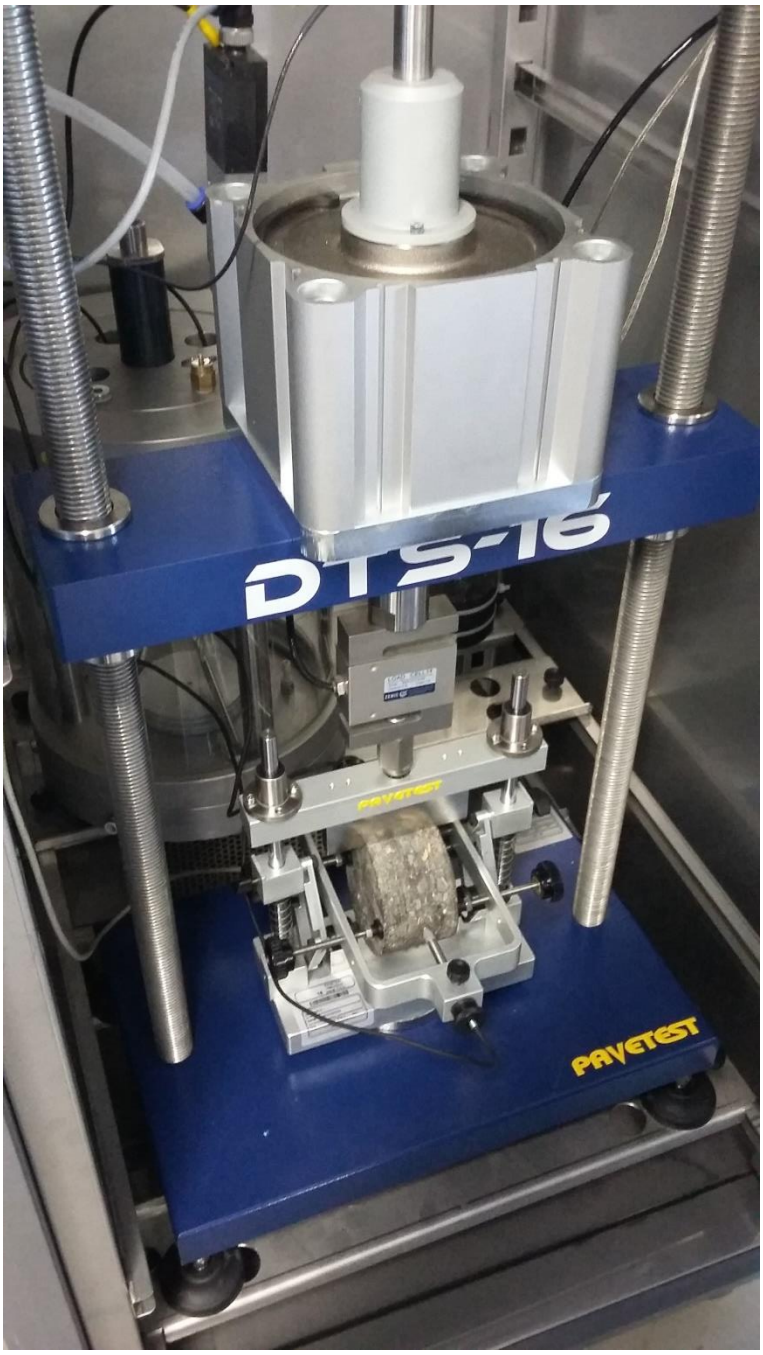


Figura 99 - Equipamento de carga repetida ajustado pronto para ensaio de compressão diametral.

VI.17.4 - ANÁLISE DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAMETRAL DE CARGA REPETIDA

A Tabela 39 apresenta os valores de Módulo de Resiliência (MR) e de Módulo de Carregamento (MC) obtidos nos ensaios de compressão diametral de carga repetida para cada ciclo de carga e descarga, os valores médios de cada grupo e os valores adotados para a amostra. Os sensores de deslocamento foram instalados externamente ao corpo-de-prova, ou seja, com comprimento de medida de 1 diâmetro. O valor do coeficiente de Poisson (μ) adotado foi de 0,3, conforme orientação da norma ABNT NBR 16018/2011.

Tabela 39 - Cálculo dos Módulos de Resiliência e de Carregamento

Ensaios de Compressão Diametral de Carga Repetida									
UA	Material	Grupo	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Valor Médio (MPa)	Valor Adotado (MPa)
			Módulo de Resiliência (MPa)					MR	MR
5	CBUQ	1	2539,5	2420,8	2596,0	2766,6	2910,9	2646,7	3457,6
		2	3463,5	3295,7	3213,3	3720,9	3594,4	3457,6	
		3	5253,8	4562,6	4289,6	5266,9	5775,7	5029,7	
		Grupo	Módulo de Carregamento (MPa)					MC	MC
		1	1843,1	1794,1	1767,5	1751,4	1734,2	1778,1	1763,8
		2	1824,4	1777,0	1751,3	1744,1	1722,3	1763,8	
		3	1807,0	1778,3	1763,5	1759,2	1787,0	1779,0	

De acordo com a ABNT NBR 16018/2011, o cálculo do MR utiliza o deslocamento instantâneo (deformação elástica instantânea), enquanto o MC utiliza o deslocamento total (deformação elástica + deformação plástica). A diferença entre os dois tipos de deslocamento pode ser verificada na Figura 97. No mais, o cálculo de ambos é semelhante. Os valores de MR e MC foram calculados, para cada ciclo, por meio do programa de aquisição de dados do equipamento de cargas repetidas, seguindo as orientações da ABNT NBR 16018/2011.

Conforme explicado anteriormente, a ABNT NBR 16018/2011 recomenda a execução de 15 ciclos de carga e descarga para o cálculo do MR e do MC. Os ciclos são divididos em 3 grupos, sendo calculadas as médias por grupo. Para que um grupo seja considerado válido, não deve haver qualquer resultado individual com uma variação maior do que 5% em relação à média. Na Tabela 39, os resultados destacados em vermelho são aqueles que superaram essa variação.

Uma vez que nenhum dos 3 grupos avaliados atendeu aos critérios estabelecidos, a norma adotada exigiria a repetição do ensaio. Para fins de análise, no entanto, adotou-se como MR da amostra o valor do grupo cujos resultados individuais apresentaram as menores variações em relação à média. O MC adotado, por sua vez, foi referente ao mesmo grupo do MR adotado.

Verificou-se que os resultados do ensaio apresentaram uma variabilidade significativa no que se refere aos valores de MR. Isso se deve, possivelmente, às dificuldades encontradas no correto posicionamento do corpo-de-prova e dos LVDTs. Uma vez que os deslocamentos medidos são extremamente pequenos, caso os LVDTs não estejam devidamente fixados e alinhados, as medidas podem ser influenciadas de maneira importante.

VI.17.5 - VIDA DE FADIGA

O principal mecanismo de ruptura de pavimentos flexíveis no Brasil é a fadiga do revestimento asfáltico sob a ação das cargas repetidas de tráfego. A estimativa da vida de fadiga de misturas asfálticas pode ser feita com ensaios laboratoriais que procuram simular as condições de solicitação de uma rodovia ou procuram uma aproximação fundamentada (Fritzen, 2005).

A repetição das cargas das rodas dos veículos solicita à flexão a camada de concreto asfáltico do revestimento betuminoso, conforme explicam Medina e Motta (2015). Iniciam-se trincas, geralmente, na parte inferior do revestimento, que se propagam para cima até atingir a superfície. Segundo Adedimila e Kennedy (1975), em revestimentos muito espessos, de 20 cm ou mais, podem iniciar-se trincas na superfície pela curvatura convexa próxima às rodas. Há que se levar em conta, ainda, o efeito das cargas horizontais na distribuição de tensões, que pode eventualmente contribuir para o início das trincas na superfície do pavimento.

O fenômeno de fadiga é considerado um processo de deterioração estrutural que um material sofre quando submetido a um estado de tensões e de deformações repetidas, resultando em trincamento do pavimento ou até mesmo a sua ruptura, após um número suficiente de repetições de carregamento, ou seja, é a perda de resistência do material quando solicitado por uma carga repetida (Preussler *et al.*, 1981). A fadiga é considerada um dos principais problemas que pode levar a degradação da estrutura dos pavimentos. Em uma estrutura sujeita a carregamento cíclico, diversos estágios convencionalmente divididos podem ser diferenciados durante um processo de fadiga, conforme ilustra a Figura 100.

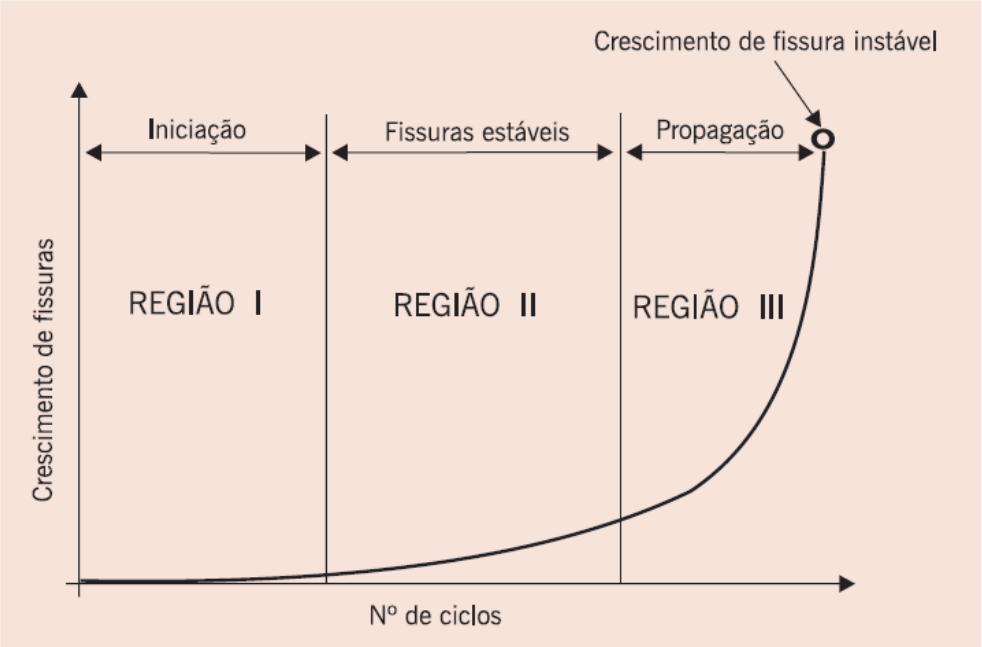


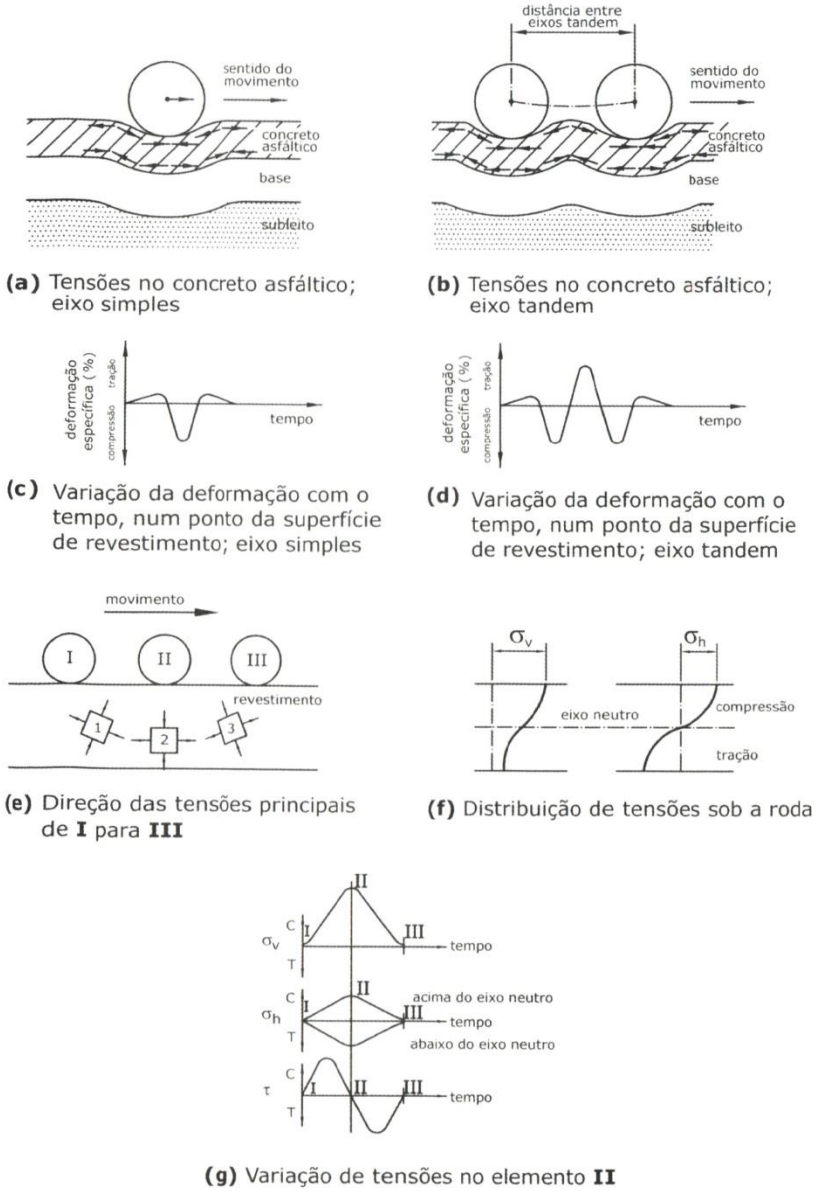
Figura 100 - Estágios existentes num processo de fadiga (Bernucci *et al.*, 2007).

• Região I: onde as primeiras mudanças microestruturais ocorrem; formam-se microfissuras; a densidade dos deslocamentos cresce e as zonas de danos irreversíveis se iniciam.

• Região II: caracterizada pelas macrofissuras originadas da coalescência das microfissuras.

• Região III: crescimento das macrofissuras conduzindo rapidamente ao colapso total.

Na Figura 101 mostram-se, de modo esquemático, as deformações desenvolvidas num revestimento de concreto asfáltico sob a passagem de rodas de um veículo. A magnitude dos deslocamentos vai depender dos parâmetros de deformabilidade vistos anteriormente, muito sensíveis à temperatura. Note-se em (e) que só se têm as tensões principais nos planos horizontal e vertical quando a roda está verticalmente acima como no elemento 2. Noutras posições da roda atuam tensões cisalhantes, t, como indicado em (g).



(a) Tensões no concreto asfáltico; eixo simples

(b) Tensões no concreto asfáltico; eixo tandem

(c) Variação da deformação com o tempo, num ponto da superfície de revestimento; eixo simples

(d) Variação da deformação com o tempo, num ponto da superfície de revestimento; eixo tandem

(e) Direção das tensões principais de **I** para **III**

(f) Distribuição de tensões sob a roda

(g) Variação de tensões no elemento **II**

Figura 101 - Deformações e tensões no revestimento asfáltico (Adedimila e Kennedy, 1975).

O efeito de fadiga está relacionado com a redução da rigidez do material, sendo influenciado pelas condições de carregamento e limites de contorno. Porém, este fenômeno não deve ser confundido com a deformação permanente que pode ocorrer quando são aplicadas apenas tensões de compressão ou de tração repetidas originando significativas deformações acumuladas irreversíveis que podem ocultar o efeito relacionado com a fadiga, conforme mostrado na Figura 102.

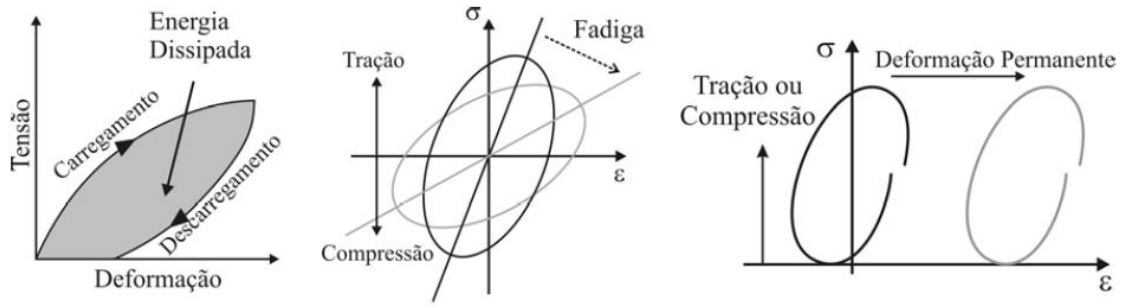


Figura 102 - Diferenciação entre o fenômeno de fadiga e deformação permanente (Brito *et al.*, 2008)

A simulação da aplicação dos esforços aponta a preferência dos ensaios de flexão. Entretanto, por sua maior facilidade de execução, principalmente para a moldagem e o sistema de carregamento, adotou-se o ensaio de compressão diametral como o mais conveniente no país, mas considerada a possibilidade de correlação com outros ensaios dinâmicos. As cargas solicitantes verticais de aplicação diametral devem induzir tensões no plano vertical diametral de 10 a 50 % da tensão da ruptura estática. Os corpos-de-prova são moldados por impacto na área plena segundo o método Marshall, resultando cilindros de 63 mm de altura e 100 mm de diâmetro, aproximadamente (Medina e Motta, 2015).

A vida de fadiga de uma mistura asfáltica é definida em termos de vida de fratura (N_f) ou vida de serviço (N_S). A primeira se refere ao número total de aplicações de uma certa carga necessária à fratura completa da amostra e a segunda (N_S) ao número total de aplicações dessa mesma carga que reduza o desempenho ou a rigidez inicial da amostra a um nível preestabelecido (Bernucci *et al.*, 2007).

Embora ainda não normatizado, o ensaio de fadiga tem sido largamente realizado no país, geralmente à compressão diametral sob temperatura e tensão controladas (TC). A tensão σ_t é repetidamente aplicada e induzida pela força vertical distribuída no friso da geratriz, não se alterando até a ruptura do corpo-de-prova.

Medina e Motta (2015) explicam que a modalidade de deformação controlada (DC) é de execução mais difícil se não se dispuser de um servomecanismo retroalimentador que permita ajustar a força aplicada em função dos desvios da deformação medida. O ensaio se encerra

quando houver uma queda da rigidez inicial do corpo-de-prova preestabelecida. Pinto (1991) adotou, como critério para o fim da vida de fadiga nos ensaios DC que realizou, o momento em que a carga necessária para manter a deformação constante tivesse sido reduzida de 40 % da inicialmente aplicada. O controle automático da deformação garante sua permanência num intervalo de ± 15 % da deformação inicial.

A solicitação à tensão controlada é a que ocorre em pavimentos de revestimento asfáltico muito mais rígido do que a camada de base e que, ao resistirem às carga, determinam a magnitude das deformações. A solicitação à deformação controlada corresponde melhor a pavimentos de revestimento delgado e fraco em relação à base; embora adicionando alguma resistência, o revestimento tem sua deformação controlada pela deformabilidade das camadas subjacentes (Medina e Motta, 2015).

Utiliza-se uma frequência de 60 aplicações por minuto com 0,10 segundo de duração do carregamento repetido (1Hz). Para manter a temperatura controlada utiliza-se uma câmara com sistemas de aquecimento e refrigeração ligados a um termostato. Para cada mistura ensaiada determinam-se as relações entre o número de repetições à ruptura e o nível de tensões atuantes (conforme ilustrado na Figura 103 para três misturas com distintas faixas granulométricas):

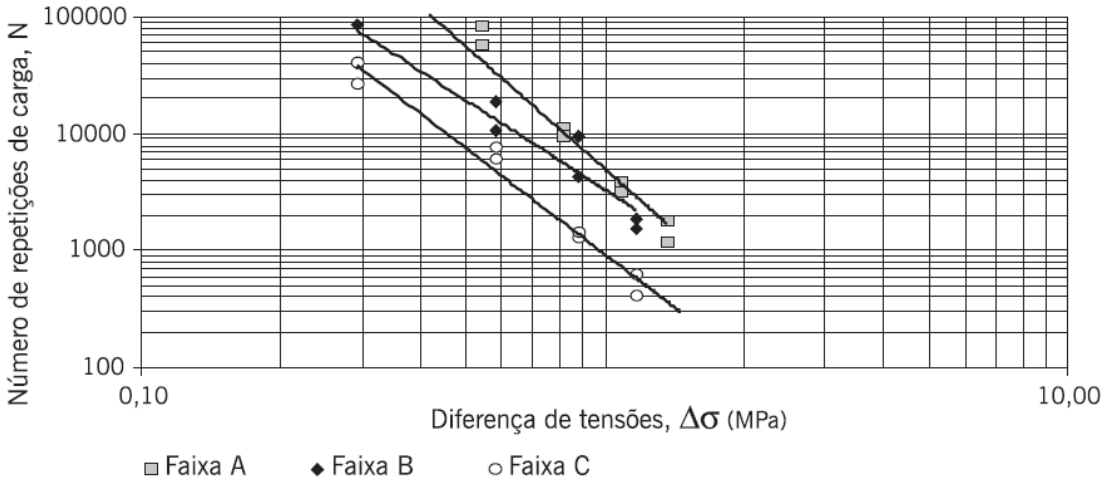


Figura 103 - Vida de fadiga considerando diferentes faixas granulométricas (Bernucci *et al.*, 2007).

No ensaio de resistência à compressão diametral em misturas asfálticas, a aplicação das forças se dá através de frisos metálicos de 12,7 mm de largura com curvatura adequada ao corpo-de-prova cilíndrico (Figura 104).

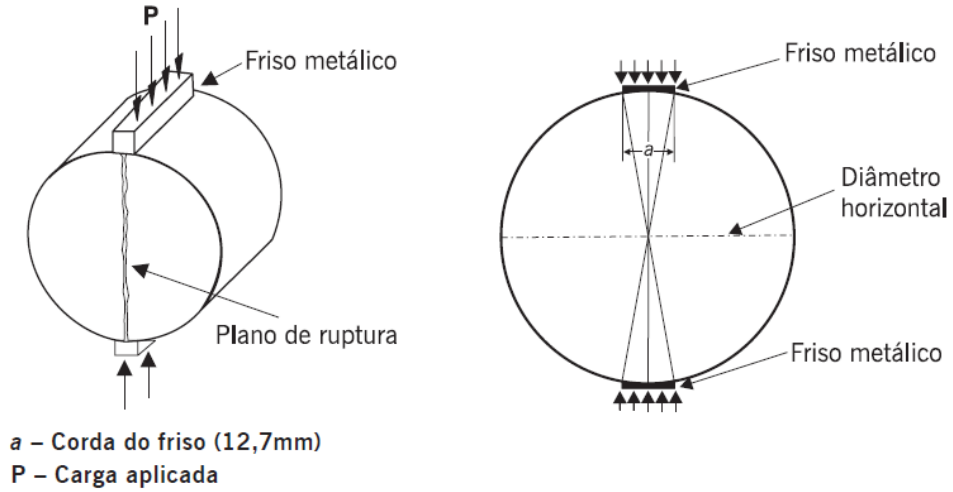


Figura 104 - Esquema do ensaio de compressão diametral (Bernucci *et al.*, 2007).

A norma ABNT NBR 15087/2012 define os passos e equipamento utilizado no ensaio, conforme descrição a seguir. A aparelhagem necessária para o ensaio consiste de:

- Prensa mecânica calibrada com sensibilidade inferior ou igual a 20N, com êmbolo movimentando-se a uma velocidade de 0,8 ± 0,1mm/s – Figura 105(a);
- Sistema capaz de manter, de forma controlada, a temperatura de ensaio em 25°C ± 0,5°C em compartimento, câmara ou ambiente laboratorial que comporte a prensa mecânica e possa abrigar vários corpos-de-prova conjuntamente;
- Dispositivo de posicionamento e centralização de corpo-de-prova – Figura 105(b);
- Paquímetro e termômetro.

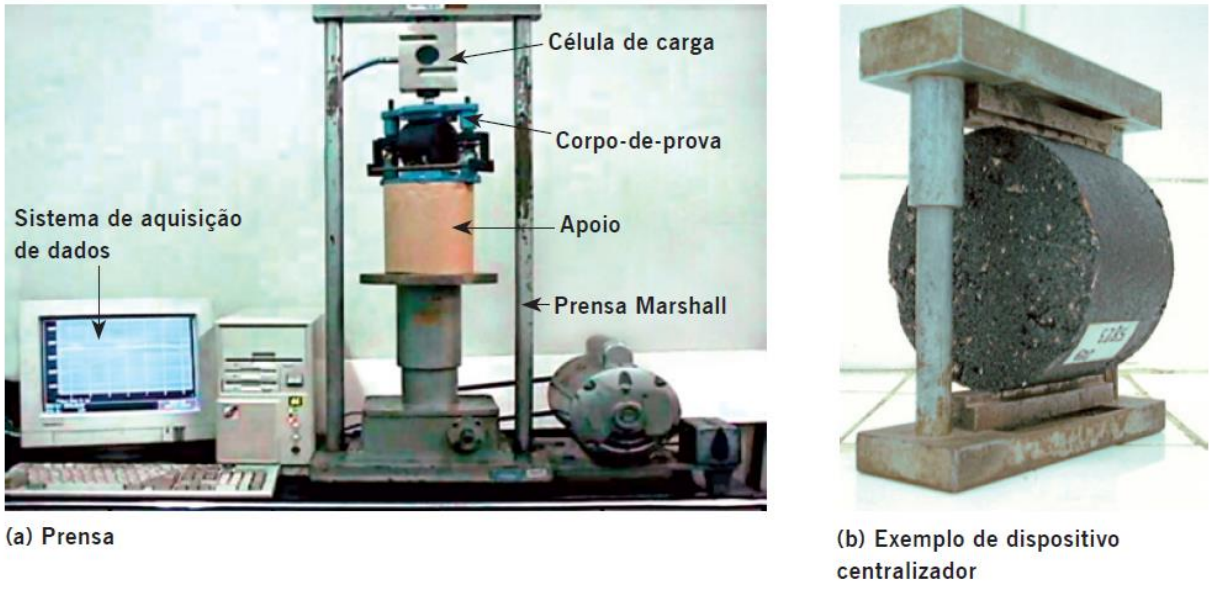


Figura 105 - Exemplo de equipamento para ensaio (Bernucci *et al.*, 2007).

O corpo-de-prova destinado ao ensaio pode ser obtido diretamente do campo por extração através de sonda rotativa ou fabricado em laboratório, de forma cilíndrica, com altura entre 35 mm a 70 mm e diâmetro de 100 ± 2 mm. O procedimento é o seguinte (Bernucci *et al.*, 2007).

- Medir a altura (H) do corpo-de-prova com o paquímetro, em quatro posições diametralmente opostas (adotar como altura a média aritmética das quatro leituras);
- Medir o diâmetro (D) do corpo-de-prova com o paquímetro, em três posições paralelas (adotar como diâmetro o valor da média aritmética das três leituras);
- Manter o corpo-de-prova apoiado sobre uma geratriz em compartimento com temperatura controlada de 25°C, por no mínimo 4 horas. Alternativamente podem ser consideradas outras temperaturas, dependendo dos requisitos de projeto;
- Posicionar o corpo-de-prova no dispositivo centralizador e levar à prensa;
- Ajustar os pratos da prensa até que seja obtida uma leve compressão;
- Aplicar a carga progressivamente, com uma velocidade de deslocamento de 0,8 ± 0,1mm/s, até que se dê a ruptura, por separação das duas metades do corpo-de-prova, segundo o plano diametral vertical;
- Com o valor da carga de ruptura (P) obtido, a resistência à tração é calculada através da equação:

$$\sigma_{xx} = \frac{2P}{\pi D} = \frac{P}{\pi R}$$

Onde:

σ_{xx}= tensão de tração uniforme na direção-x (positiva);

= força aplicada por unidade de espessura do cilindro;

R = raio do cilindro;

D = diâmetro do cilindro.

De acordo com as normas vigentes (ABNT NBR 15087/2012 e DNIT 136/2010), o cálculo da resistência à tração (RT) pela equação apresentada acima para misturas asfálticas assume que o corpo-de-prova rompe devido à tensão de tração uniforme gerada ao longo do diâmetro solicitado que se iguala à tensão máxima admissível do material (σ_{adm} = RT), que está em regime elástico durante todo o ensaio.

VI.17.5.1 – ANÁLISE DOS ENSAIOS DE VIDA DE FADIGA

O ensaio de vida de fadiga permite a obtenção de uma curva que representa a relação entre o número de repetições de ciclos de carga e descarga com o nível de tensões aplicado, de acordo com o critério de fadiga adotado (tensão ou deformação controlada), semelhante ao apresentado na Figura 38. Esse número de repetições pode ser correlacionado com o número N de passagens

do eixo-padrão no pavimento, através do fator laboratório-campo (FLC). Para tanto, faz-se necessário o monitoramento contínuo das UAs, a fim de definir o número N que leva o pavimento, sob as condições regionais representadas por determinada UA, à fadiga.

Usualmente, os ensaios de vida de fadiga são realizados em corpos-de-prova de concreto asfáltico moldados em laboratório com o mesmo traço da mistura a ser aplicada em campo, ou ainda, a fim de definir o melhor traço de um projeto. Outro procedimento prevê a retirada de corpos-de-prova no concreto asfáltico recém-colocado em campo. O estudo idealizado neste projeto de pesquisa, no entanto, teve como diretriz a realização de ensaios de fadiga em amostras extraídas nas UAs. Dessa forma, será possível avaliar o comportamento do concreto asfáltico submetido às condições de campo.

Os ensaios de fadiga ainda não foram realizados no Laboratório de Pavimentação da Via040. Para evitar danos físicos dos equipamentos de ensaios de carga repetida ocasionados por variações da rede elétrica, inerentes à falhas da companhia de energia que atende a região de Nova Lima/MG, torna-se necessário instalar um *no-break*. Para que o *no-break* garanta a proteção, o mesmo deverá ter uma autonomia de 4 horas para evitar paradas bruscas dos ensaios, que resultaria em danos irreparáveis em alguns componentes dos equipamentos. Como um único ensaio de fadiga demanda em média de 5 a 7 dias ininterruptos é fundamental que exista um sistema de proteção capaz de impedir que variações de corrente elétrica e paradas bruscas danifiquem os componentes dos equipamentos de ensaios de carga repetida. Como não foi adquirido o *no-break* os ensaios não foram realizados.

VI.18 - ANÁLISES DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS

As análises do comportamento estrutural dos pavimentos da Via040 foram realizadas através dos dados de deflexão das Unidades de Amostragem (UAs). A maneira mais direta e simples de avaliação da capacidade mecânica da estrutura, em faces das cargas aplicadas, é a medida de deflexões por meio de instrumento adequado, seja viga de Benkelman ou FWD. Na Figura 106 apresentam-se os valores das deflexões máximas por UA. Os valores das deflexões máximas comumente são utilizados para estudos de segmentação dos pavimentos de uma rodovia. Entretanto, não retratam a forma como o pavimento responde à ação de um carregamento. Destaca-se ainda, que nem sempre um pavimento com deflexão alta apresenta trincamento excessivo na camada de revestimento. Ao contrário, por vezes pode-se verificar um percentual de trincamento significativo em um pavimento com baixos valores de deflexão. Tal se deve à compatibilização de rigidez dos materiais de construção do pavimento. Como as camadas do pavimento trabalham em conjunto, é importante que haja compatibilidade de rigidez dos materiais, evitando-se gradientes elevados de módulos de resiliência (MR) entre camadas.

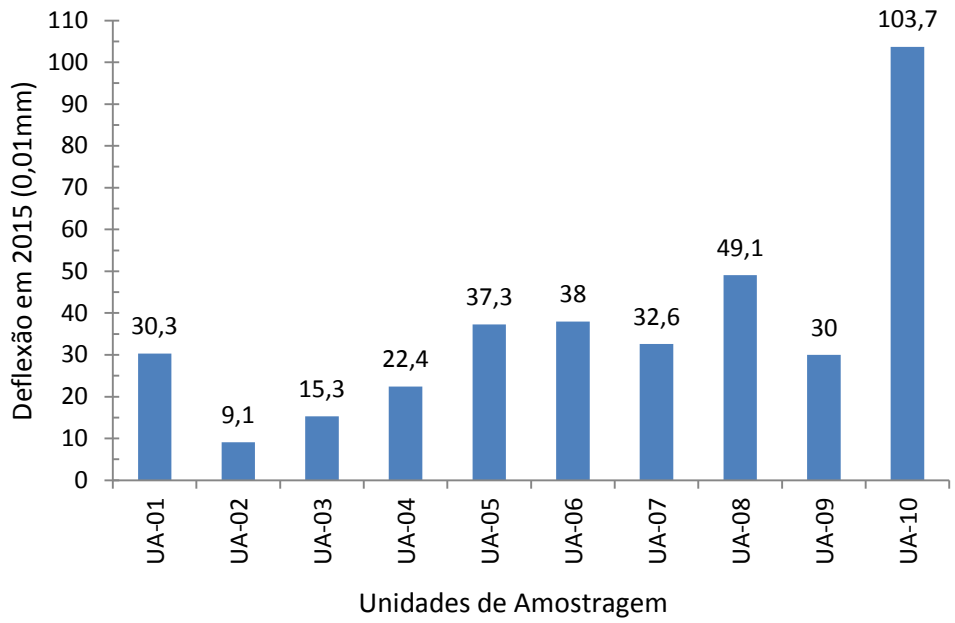


Figura 106 – Deflexões máximas de cada Unidade de Amostragem (UA).

A diferenciação do comportamento estrutural de cada UA é visualizada por meio da plotagem de todas as bacias de deflexão (linhas de influência deflectométrica) em um mesmo gráfico (Figura 107). Através da normalização das linhas de influencia deflectométricas é possível analisar melhor as características da condição estrutural de cada UA (Figura 108). Nota-se que existem grupos de bacias de deflexão com características próximas e outras bastante diferenciadas, como o caso da UA-02, cuja geometria é atípica. É interessante ressaltar que mesmo a UA-10 com

deflexão acima de 1mm (muito alta) apresenta geometria da linha de influência muito parecida com as demais UAs com valores que tipicamente não ultrapassam 0,35mm.

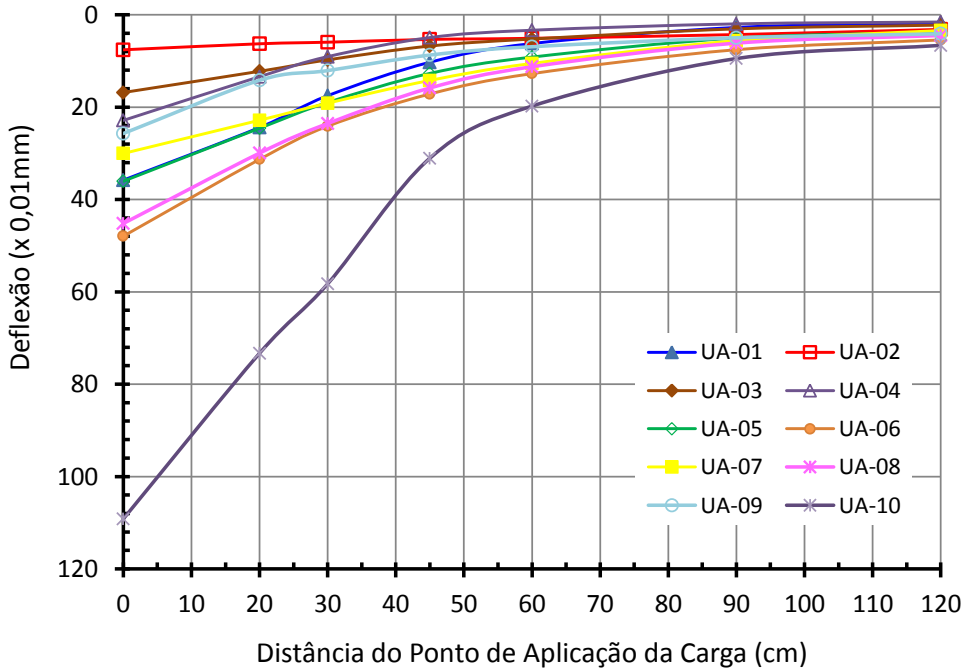


Figura 107 – Linhas de influência deflectométricas medidas por meio de FWD nas Unidades de Amostragem (bacia obtida pela média de sete pontos de ensaio).

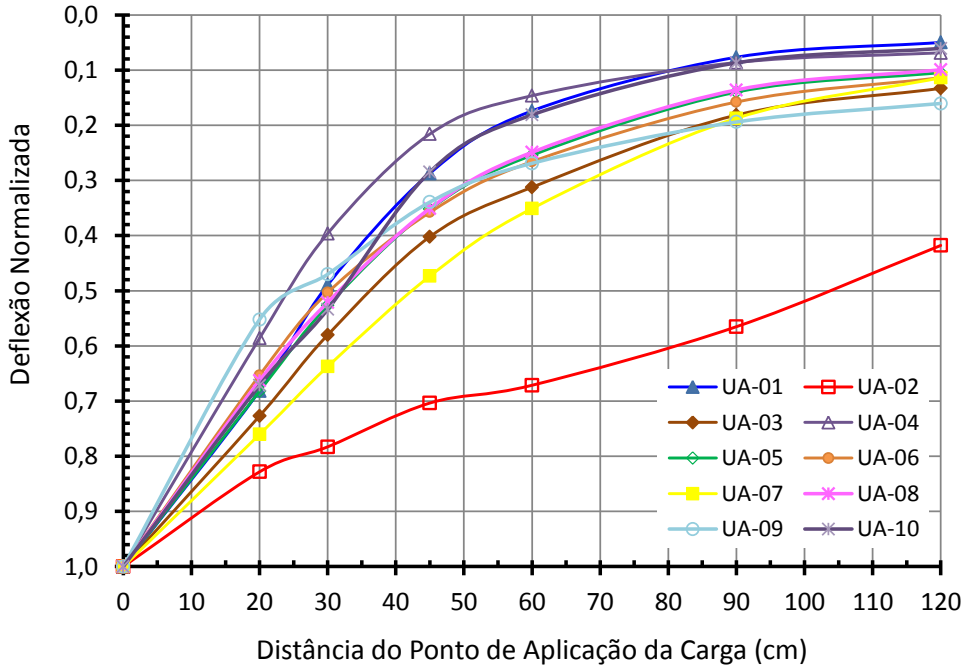


Figura 108 – Gráficos normalizados das linhas de influência deflectométricas das UAs.

Na Figura 109 apresnetam-se as curvas de desempenho estrutural dos pavimentos elaboradas a partir da modelagem com o HDM-4. Objetivando observar possíveis diferenças de comportamento entre as UAs, as curvas foram plotadas em conjunto em gráfico com a deflexão normalizada.

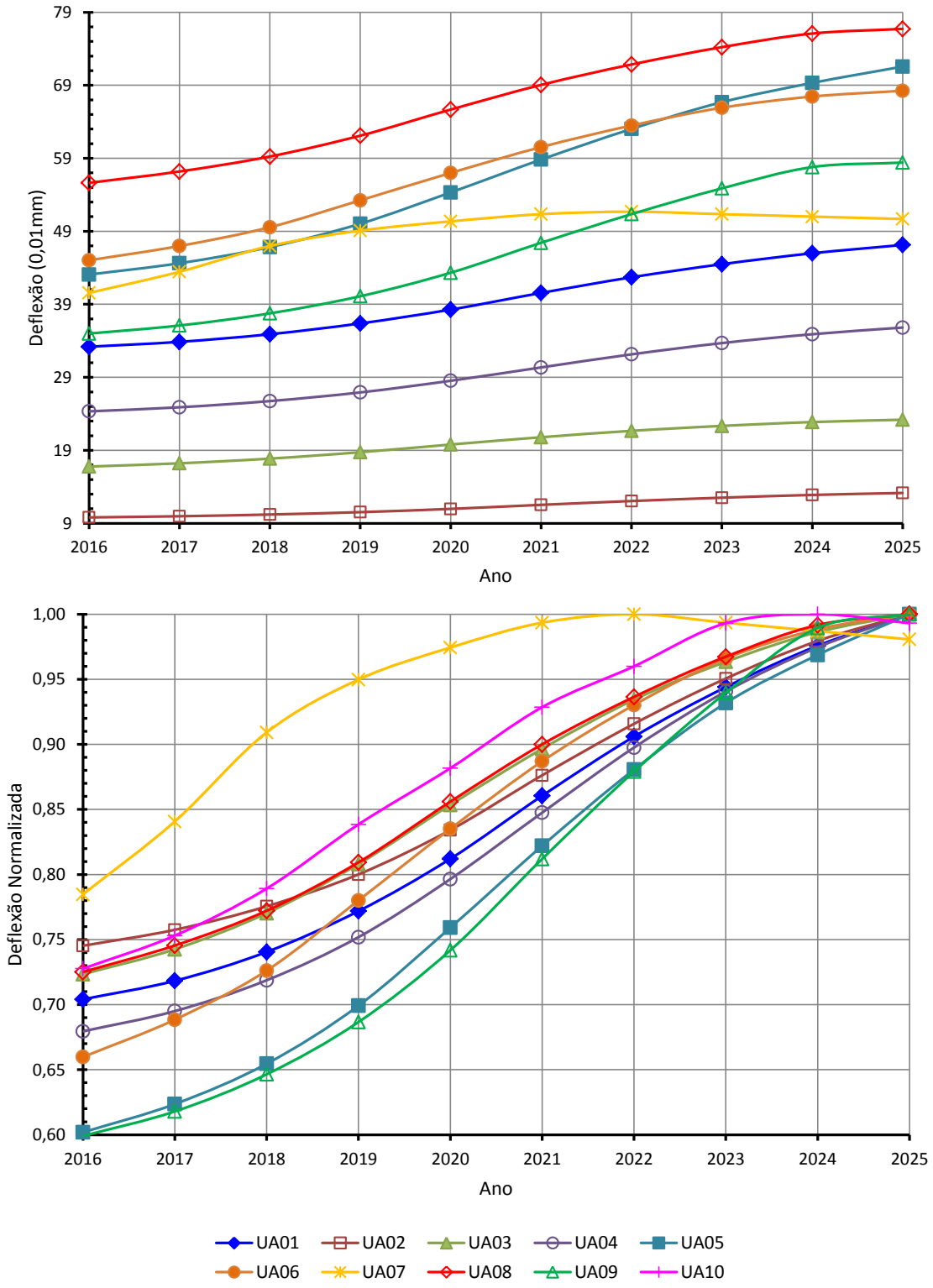


Figura 109 – Análise comparativa das curvas de desempenho das Deflexões das Unidades de Amostragem: (a) Deflexão; e (b) Deflexão Normalizada ao longo do tempo.

Os gráficos normalizados permitem que sejam identificadas as UAs com desempenhos similares. Existem UAs com comportamentos próximos, que podem ser agrupadas em mais de um grupo, assim como existem UAs com comportamento específico. Destacam-se as Unidades de Amostragem UA07 e UA10 pelo seu comportamento bastante diferente das demais UAs. Referenciando-se nas curvas de desempenho da condição estrutural dos pavimentos (Figuras 107 e 108), notam-se os seguintes agrupamentos: (1) UA01/UA02/UA03/UA04; e (2) UA06/UA08/UA09. A UA05 tem comportamento mais próximo do Grupo 2 (UA06/UA08/UA09). Em termos de materiais de construção, tipicamente as UAs estão inseridas em 3 grupos. As UAs 01 a 06 apresentam camada de base do pavimento composta por solo laterítico com cascalho. No trecho do Quadrilátero Ferrífero, representado pela UA-07, tem-se canga de minério na camada de base. Já as demais UAs (UA-08 a UA-10) há predominância de bases em brita graduada ou bica corrida. De maneira geral, as camadas inferiores são construídas com materiais originados da mesma matriz rochosa.

VI.18.1 – AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

A condição estrutural do pavimento indica por quanto tempo este ainda manterá um nível adequado de condição funcional ou serventia. A condição de um pavimento representa o nível de degradação resultante do processo de deterioração (DNER, 1998).

De acordo com Borges (2001), a avaliação estrutural verifica a capacidade de carga do pavimento, compreendendo o estudo das características de resistência e de deformabilidade de suas camadas. Dados referentes a adequabilidade estrutural do pavimento são essenciais para determinar o diagnóstico da qualidade global do pavimento.

Segundo Gontijo *et al*. (1994), este tipo de avaliação "permite detectar as causas mais prováveis das manifestações de ruína do pavimento, e consequentemente, definir a magnitude das operações necessárias à sua restauração".

Segundo Rodrigues (1995), é conhecido como avaliação estrutural de pavimentos o conjunto de procedimentos que determinam as respostas da estrutura quando sujeita às cargas do tráfego, traduzida na forma de tensões, deformações e deflexões em determinados pontos do pavimento, de forma que seja possível verificar sua capacidade de resistir aos mecanismos responsáveis pela degradação da estrutura do pavimento. A partir deste diagnóstico, torna-se possível definir quais serviços serão necessários ao restabelecimento das condições admissíveis aos usuários da rodovia.

A maneira mais direta e simples de avaliação da capacidade mecânica da estrutura, em faces das cargas aplicadas, é a medida de deflexões por meio de instrumento adequado, seja viga de Benkelman ou *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

A deflexão do pavimento, da forma como é medida, é o resultado de uma parcela de deformação elástica e uma parcela visco-elástica. A parcela visco-elástica pode ser considerada muito pequena devido ao curto espaço de tempo de aplicação da carga e de espera com o equipamento no local do levantamento, não havendo tempo para a recuperação total da estrutura. Desta forma, pode-se dizer que a deflexão do pavimento faz parte do grupo das deformações elásticas. A deflexão no pavimento é a deformação vertical ocorrida no pavimento pela passagem das rodas dos veículos. Essa deformação provoca o "arqueamento" das camadas do pavimento e sua repetição é responsável pelo fenômeno de fadiga das camadas betuminosas e cimentadas (Borges, 2001).

Viga Benkelman

Este é, provavelmente, o teste de campo para avaliação de deflexões de pavimentos sob condições de carregamento, mais familiar aos engenheiros e aos projetistas de pavimentação, sendo o equipamento versátil e simples de operar o que o fez bem difundido e usado há um longo tempo.

A medição da deformabilidade do pavimento em provas de pneus de caminhões foi iniciada por volta de 1953, por ocasião da pista experimental da WASHO, EUA, com a criação pelo engenheiro norte-americano A. C. Benkelman de um equipamento muito simples (Figuras 110 e 111).

Moraes (2015) nos diz que a Viga Benkelman consiste de um equipamento muito simples destinado a medir deflexões no pavimento. É constituída por uma viga delgada horizontal com articulação intermediária, apoiada sobre três pés, formando então dois braços cuja relação dos comprimentos é 2:1 ou 4:1. Necessita de um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2t para aplicar a carga sob a qual será medida a deformação elástica.

No Brasil, a utilização da viga Benkelman iniciou-se, nos anos 1960 com os engenheiros Nestor José Aratangy e Francisco Bolivar Lobo Carneiro.

As normas que regulamentam a utilização da viga Benkelman no Brasil são DNER-ME 24/94, DNER-PRO 175/94 e DNER-ME 061/94.

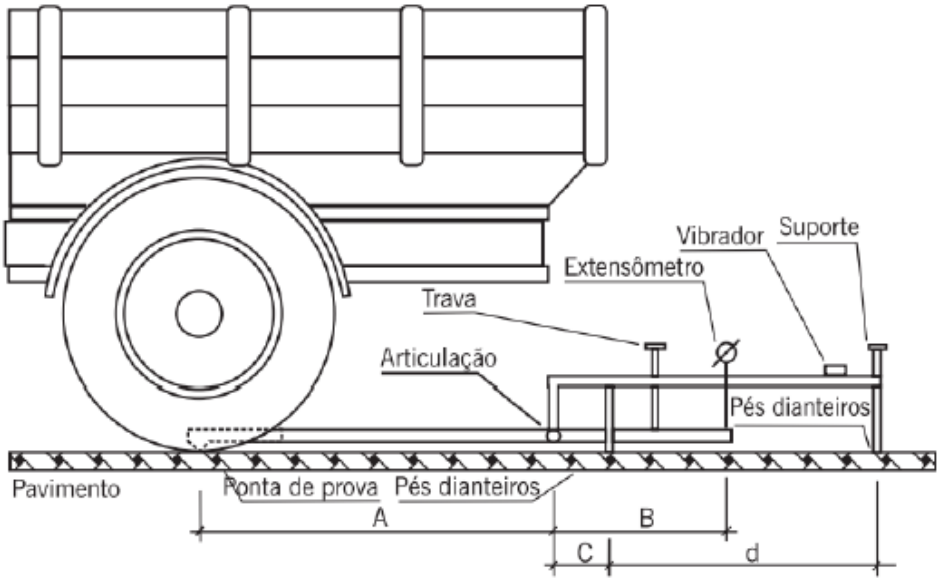


Figura 110: Esquema viga Benkelman (DNER-ME 24/94).

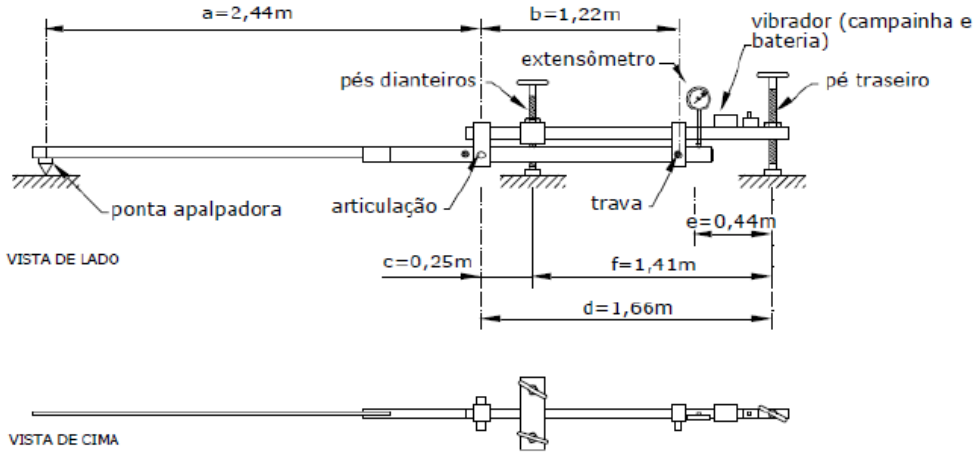


Figura 111: Esquema da Viga Benkelman para medição de deflexões de pavimentos (Medina e Motta, 2005).

Execução do ensaio para cálculo da bacia de deflexão segundo a norma DNER-ME 061/94:

1. Aferição da viga conforme DNER-PRO 175/94;

2. Localização e marcação dos pontos do pavimento em que devem ser medidas as deflexões, localizados a uma distância prefixada da borda do revestimento, de acordo com a Tabela 1;

3. Um dos conjuntos de rodas duplas traseiras do caminhão deve ser centrado sobre o ponto selecionado na trilha externa, conforme indicado na Tabela 1. A carga de prova utilizada pelo caminhão é a carga sobre seu eixo traseiro de 8,2 tf;

4. A ponta de prova da Viga Benkelman deve ser colocada entre os pneus da roda dupla, coincidindo com o ponto selecionado. O perfeito posicionamento da ponta da viga, na vertical do

eixo traseiro, deve ser assegurado por meio de um sistema de referência, relacionando a posição da viga à do caminhão. A trava da viga deve ser liberada;

5. Ligado o vibrador, faz-se a leitura inicial (L_0) quando o extensômetro indicar movimento igual ou menor que 0,01mm/min, ou decorridos 3 minutos da ligação do vibrador;

6. Desloca-se o caminhão lentamente para frente até que a sua referencia atinja as proximidades da primeira divisão ressaltada da régua de referencia. Com o caminhão parado e o vibrador ligado, efetua-se a primeira leitura intermediária, isto é, a leitura L_1 quando o extensômetro indicar movimento igual ou inferior a 0,01 mm/min, ou após decorridos 3 minutos, anotando também a distância correspondente ao deslocamento da referencia do caminhão sobre a régua graduada com precisão de cm.

7. Procede-se da mesma maneira para obter as outras leituras intermediárias, isto é, as leituras L_2, L_3, L_4, L_5, etc.

8. O caminhão deve-se deslocar, lentamente, 10m para frente e conforme leitura inicial deve-se fazer a leitura final (L_f);

Calcula-se a deflexão do pavimento nos pontos correspondentes aos diversos deslocamentos pelas fórmulas:

$$D_0 = (L_0 - L_f)\ a/b$$

$$D_n = (L_n - L_f)\ a/b$$

Onde:

D_0: Deflexão em centésimo de milímetros no ponto de prova inicial (flexão máxima da linha de influência longitudinal da bacia de deformação);

D_n: Deflexão nos pontos correspondentes aos diversos deslocamentos do veículo;

L_0: Leitura inicial em centésimo de milímetros;

L_n: Leituras correspondentes aos diversos deslocamentos do veículo em centésimos de milímetros;

L_f: Leitura final em centésimo de milímetros;

$a\ e\ b$: Dimensões nos braços da viga Benkelman, em centímetros.

9. Desligado o vibrador, a parte móvel da viga deve ser travada sendo transportada para o novo ponto;

10. O raio de curvatura da bacia de deformação pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$R = \frac{6250}{2x(D_0 - D_1)}$$

Onde,

R = raio de curvatura, em metros;

D_0 = deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetros;

D_1 = deflexão na distância L_1, em centésimos de milímetros.

Existem outras fórmulas para cálculo do raio de curvatura e a interpretação da qualidade do pavimento sob o ponto de vista deste parâmetro, tal como a definição de um valor admissível, deve estar vinculada à expressão matemática usada nesta definição.

Tabela 40 - Distâncias de ensaio em relação à borda do revestimento (DNER-ME 061/94).

Largura da faixa de tráfego	Distância à borda do revestimento
Unidade (m)	Unidade (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50 ou mais	0,90

***Falling Weight Deflectometer* (FWD)**

Os defletômetros de impacto tipo *falling weight deflectometer* (FWD), normatizado pela DNER-PRO 273 e ASTM D 4695, tem tido grande aceitação nas avaliações estruturais de pavimentos asfálticos e de concreto, em pistas de aeroportos e rodovias, pois podem ser simuladas cargas de trens-de-pouso de aeronaves a eixos de caminhões e vem sendo cada vez mais utilizado devido à sua versatilidade, rapidez, alta precisão e grande produtividade.

De acordo com Cardoso (1995), o *falling weight deflectometer* (FWD) é um deflectômetro de impacto projetado para simular o efeito da passagem de uma carga de roda em movimento no pavimento. A medida de deflexão é obtida pela queda de um conjunto de massas, a partir de alturas pré-fixadas, sobre um sistema de amortecedores de borracha. Este sistema foi especialmente projetado para tornar o pulso de carga recebido pelo pavimento, o mais próximo possível de uma senóide. Igualando- se a energia potencial da massa, antes de sua queda, com o trabalho desenvolvido pelos amortecedores de borracha, depois da queda, pode-se conhecer a força de pico exercida sobre o pavimento.

O impacto causado pela carga no pavimento simula a passagem de uma carga de roda a uma velocidade entre 60 e 80km com uma duração de 25 a 33 milissegundos, em esquema na Figura 112.

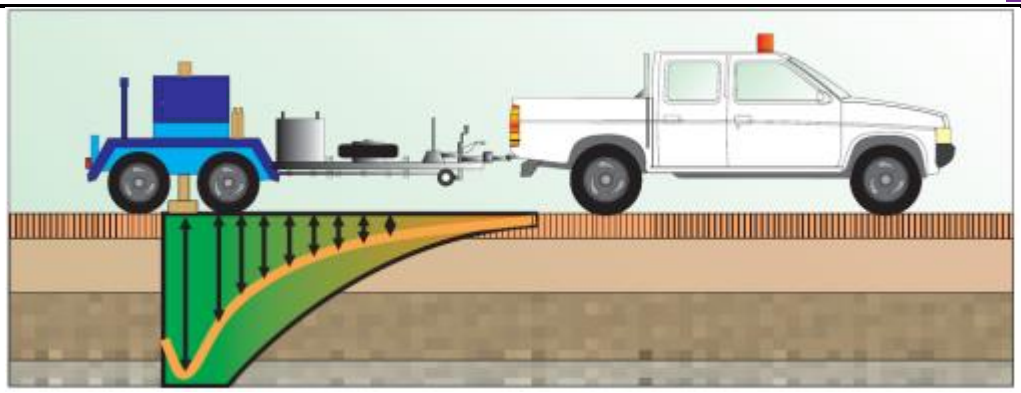


Figura 112 - Deflectômetro de Impacto, (Díaz, 2014).

Segundo Macêdo e Rodrigues (2003), os deslocamentos recuperáveis gerados na superfície do pavimento (bacia de deflexões) são medidos por sensores instalados ao longo de uma barra metálica (Figura 113) e um na própria placa circular. Estes sensores podem ser sismômetros, que são transdutores de deslocamento, geofones, que são transdutores de velocidade, ou acelerômetros.



Figura 113 - Sensores de medida de deflexão de um FWD.

O veículo de teste do FWD conta com um computador que, além da distância percorrida mensurada por um odômetro de precisão, simultaneamente armazena as deflexões medidas, temperatura da superfície do revestimento, temperatura do ar, altura de queda, massa e rigidez do pavimento. (Cardoso, 1995).

A força de pico aplicada ao pavimento, por meio da placa de carga pode ser calculada pela fórmula seguinte:

$$F = \sqrt{2Mghk}$$

Onde:

F = Força de pico;

M = Massa do peso que cai;

g = Aceleração da gravidade;

h = Altura de queda;

k = Constante do sistema de amortecedores.

De acordo com Moraes (2015), deve-se distinguir o nível de carga nominal do nível de carga real. O nível de carga nominal é determinado através da expressão (1), e o nível de carga real é medido pela célula de carga sendo função da massa, da altura de queda, rigidez e temperatura do pavimento.

A introdução no Brasil de um deflectômetro FWD Dynatest foi em 1988, e foi determinante para o avanço das análises mecanísticas dos pavimentos em uso, por permitirem medidas automáticas, rápidas e precisas das bacias deflectométricas. Desde então dois modelos principais têm sido utilizados no país: Dynatest e Kuab.

Em 2010, a Norma DNIT 132/2010 - PRO foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias e estabelece a sistemática a ser empregada na calibração e controle de deflectômetro do tipo *falling weight deflectometer* (FWD). Foi elaborada tomando como base a norma AASHTO-R32-03 (2008/1): Standard recommended practice for calibrating the load cell and deflection sensor for a *falling weight deflectometer*.

Fatores que Influenciam os Valores de Deflexão

Os fatores que influenciam nas respostas deflectométricas do pavimento são os seguintes:

Efeitos Sazonais de Umidade

Durante a estação chuvosa o teor de umidade do subleito pode aumentar, diminuindo assim sua capacidade de suporte. Como esses períodos variam ao longo do ano, o valor da deflexão medida no pavimento não será constante, sendo dependente da época em que foram realizados os levantamentos.

De acordo com Nóbrega (2003), uma dúvida que os engenheiros e projetistas tinham desde a década de 60 na área de pavimentação era a seguinte: Qual a época do ano mais favorável às medições de deflexões no pavimento, sendo seus valores função das condições meteorológicas? Já naquela época, o meio técnico, de maneira geral, estava de acordo que a época mais adequada para realização de tais medições era após a estação chuvosa, em que o subleito apresentava o pior desempenho em relação a sua capacidade de suporte. Entretanto, se esta linha de raciocínio

fosse empregada como regra, o uso da viga Benkelman ficaria restrito a um pequeno período de tempo durante o ano, não sendo utilizado nas demais épocas.

Pesquisas posteriores realizadas no Brasil, tais como a pesquisa ICR e PAEP, mostraram que esta sazonalidade é baixa, além da ausência do ciclo gelo degelo (Medina, 1997).

Nestas pesquisas chegou-se a variações sazonais da ordem de 20 a 40% entre a estação seca e a estação chuvosa. No caso dos EUA esta variação pode chegar a 400%, ou seja, cinco vezes entre a medida do inverno e da primavera (Nóbrega, 2003).

De acordo com o DNER-PRO 10 (1979), a época do ano mais indicada a realização de levantamentos deflectométricos é imediatamente após a estação chuvosa, onde o subleito se encontra na condição mais desfavorável.

Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes nas medidas de deflexão, uma vez que afeta diretamente o comportamento do concreto asfáltico devido à variação da viscosidade do ligante betuminoso.

De acordo com Motta e Medina (1986), as misturas asfálticas têm um comportamento visco-elastoplástico, com sua rigidez sendo fortemente influenciada pela temperatura; quando esta diminui, o ligante betuminoso torna-se mais viscoso e o revestimento, mais rígido, aumentando, em consequência, a capacidade de distribuição de carga na estrutura do pavimento, diminuindo a magnitude das deflexões. Nos pavimentos flexíveis, a temperatura afeta, principalmente, a deflexão sob o ponto de aplicação da carga (D_0) devido ao comportamento reológico da camada asfáltica. Em pavimentos flexíveis, o efeito da temperatura nas deflexões é tanto maior quanto mais espessa for a camada elástica. Por isso, é fundamental a medida das temperaturas do ar e do pavimento no exato momento da realização dos ensaios.

Carregamento

Segundo Rocha Filho (1996), nas avaliações estruturais de pavimento a magnitude das deflexões é extremamente afetada pelo modo de carregamento utilizado. A influência do modo de carregamento sobre as deflexões pode ser melhor evidenciada quando é analisado o perfil de deflexões obtidas pelo emprego de equipamentos que utilizam modos diferentes de aplicação de carregamento.

Posicionamento dos sensores

De acordo com Nóbrega (2003), as deflexões são medidas em 0,01mm. Pequenos erros nas leituras deste parâmetro podem gerar grandes efeitos nos resultados de uma avaliação estrutural, no entanto, torna-se de extrema importância saber a que distância do centro da área carregada estão posicionados os sensores ao longo da bacia de deflexões.

Rocha Filho e Rodrigues (1998) *apud* Moraes (2015) observaram que o posicionamento dos sensores tem grande influência na obtenção dos módulos de elasticidade calculados por retroanálise. Os sensores registram os deslocamentos verticais referentes à contribuição das camadas que estão sob o estado de tensões provocado pelo carregamento aplicado, ao longo da

vertical que passa pelo sensor. Assim, a escolha mais adequada para as distâncias entre sensores deve ser função da rigidez e das espessuras das camadas do pavimento que será avaliado.

Segundo Pinto e Domingues (2001) *apud* Moraes (2015), geralmente são empregados os seguintes posicionamentos dos sensores:

- Pavimentos flexíveis: 0, 20, 30, 45, 65, 90 e 120cm;

- Pavimentos rígidos: 0, 20, 30, 80, 100, 160 e 200cm.

Os valores das deflexões máximas comumente são utilizados para estudos de segmentação dos pavimentos de uma rodovia. Entretanto, não retratam a forma como o pavimento responde à ação de um carregamento. Destaca-se ainda, que nem sempre um pavimento com deflexão alta apresenta trincamento excessivo na camada de revestimento. Ao contrário, por vezes pode-se verificar um percentual de trincamento significativo em um pavimento com baixos valores de deflexão. Tal se deve à compatibilização de rigidez dos materiais de construção do pavimento. Como as camadas do pavimento trabalham em conjunto, é importante que haja compatibilidade de rigidez dos materiais, evitando-se gradientes elevados de módulos de resiliência (MR) entre camadas.

VI.18.2 – ESTUDO DE RETROANÁLISE DE MÓDULOS DE RESILIÊNCIA

"A mecânica de pavimentos está baseada em cálculo de tensões e deformações de sistemas de camadas, em geral utilizando a teoria da elasticidade sendo necessário se conhecer os módulos de elasticidade e o coeficiente de Poisson de cada um dos materiais que compõem o pavimento e o subleito. Ora, ao se fazer uma medida de deflexão num certo ponto do pavimento, sabe-se que está deflexão resulta da contribuição de todas as camadas, e, portanto, está vinculada aos módulos de elasticidade das mesmas. Assim a retroanálise, nada mais é do que se resolver o problema inverso em relação ao dimensionamento de um pavimento novo, ou seja, têm-se as deformações resultantes de um carregamento conhecido e deseja-se conhecer os módulos que conduziram àquelas deformações elásticas", Medina e Motta (2015).

Retroanálise é o recurso em que são testados analiticamente valores de módulos de elasticidade das camadas do pavimento de maneira que, também analiticamente, as respostas das deflexões simuladas se aproximem o máximo possível das medidas de deflexões obtidas em campo para uma condição de carregamento conhecido (Balbo, 2007). Conforme recomendado pelo autor, para determinar os módulos de resiliências das camadas do pavimento por retroanálise, devem-se empregar os seguintes critérios e condições:

- São conhecidas as espessuras das camadas do pavimento em análise, por meio de abertura de poço de inspeção ou GPR. No presente estudo foram reanalisadas as UAs, onde foram refeitas as retroanálise para obtenção dos Módulos de Resiliência (MR) com os dados da abertura dos poços de inspeção e coleta de amostras, obtendo-se valores mais precisos das espessuras e materiais de cada camada que compõem a superestrutura da rodovia. Na Figura 114, observam-se as medidas das espessuras e descrição dos materiais de cada camada da amostra retirada do poço de inspeção, respectiva a sua UA.

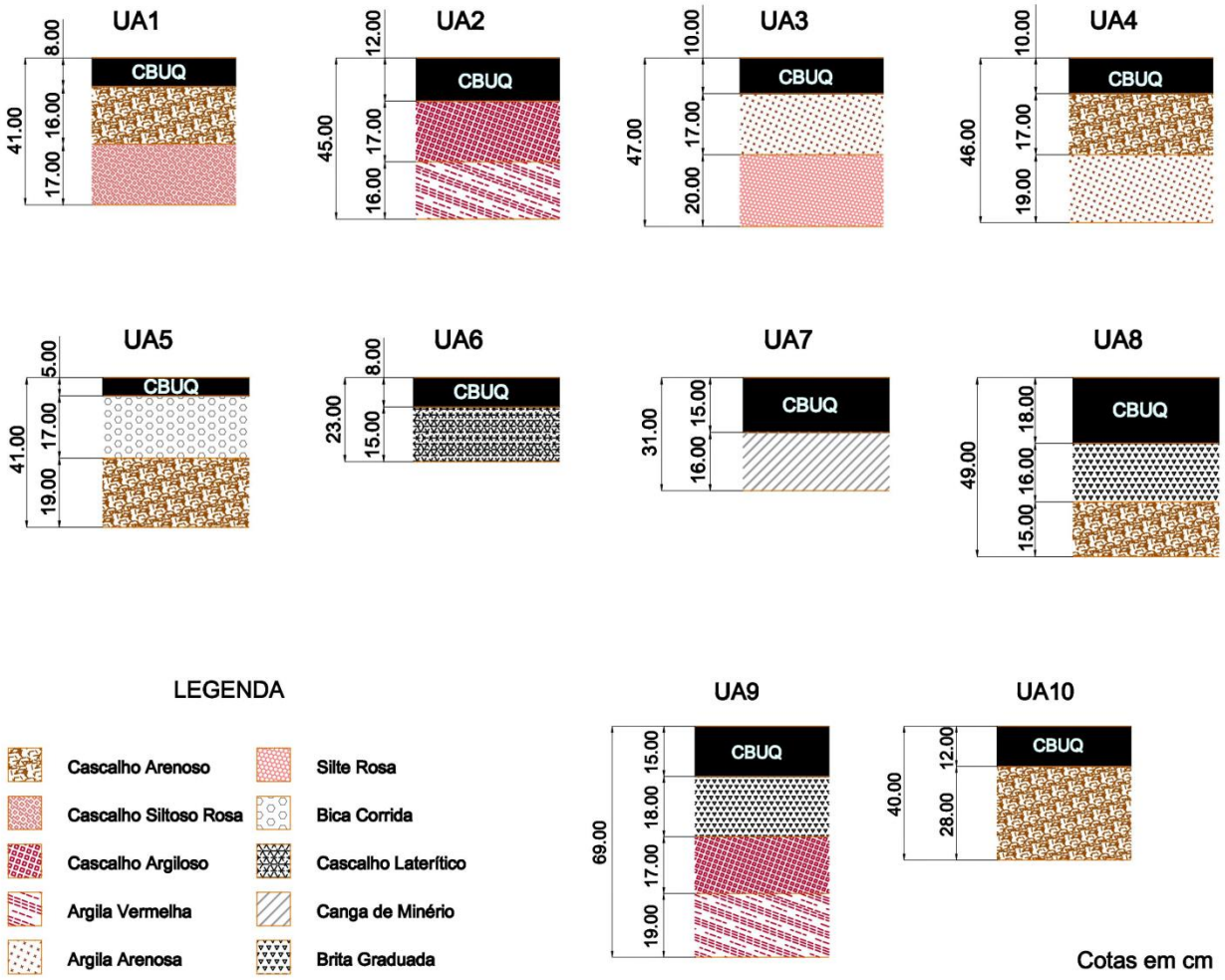


Figura 114 – Identificação das espessuras e materiais das camadas da superestrutura da rodovia referente a sua respectiva UA.

- Deve ser conhecida, com precisão, a carga sobre as rodas e a pressão dos pneumáticos durante os ensaios. As bacias de deflexão do presente trabalho foram obtidas pelo uso de FWD, cujo nível de aplicação de carga é informado.

- A avaliação de defeitos na superfície do pavimento permite detectar a ocorrência de fadiga em revestimentos e muitas vezes em bases cimentadas (fissuras de reflexão em blocos), o que é fundamental para um pré-julgamento de possíveis faixas de módulos de elasticidade dessas camadas em pista. Conforme Lytton (1989), o principal problema que a retroanálise apresenta é a possibilidade de haver muitas combinações de módulos de resiliência que são compatíveis com a bacia de deflexão medida, necessitando-se adotar alguns valores de módulo compatíveis com os materiais existentes como limitadores das combinações cabíveis em cada situação de estrutura de pavimento, levando em conta o grau de deterioração do mesmo, a idade, o clima, etc.

- Obtidos todos os dados em campo (espessuras e condições de camadas e linhas de influência deflectométricas), o avaliador precisa, inicialmente, com base em sua experiência, fazer uma

conjectura realista sobre os valores de módulos de elasticidade de cada material nas camadas do pavimento.

- Com posse das informações, o avaliador impõe todas essas condições como entrada do programa, tendo fixado os valores de partida para os módulos de resiliência das camadas, simulando então o programa e analisando a saída dos dados referentes às deflexões teóricas. A retroanálise consiste na representação teórica da bacia de deflexões obtida em campo. Então, comparam-se os resultados teóricos com aqueles obtidos em campo (deflexões). A partir desse julgamento, em um processo interativo de tentativa e erro, por aproximação dos valores de módulos, a análise permite que se aproxime cada vez mais dos valores de deflexões obtidas em pista. O critério de parada das interações é definido pelo engenheiro que realiza as análises, em geral, não se tolerando mais que 10% de variação entre cada deflexão para cada coordenada de medida.

Em resumo, a retroanálise consiste na identificação de uma bacia de deformação o mais similar possível àquelas medidas em campo, desde que conhecidas as camadas (materiais) e suas espessuras existentes, bem como a carga e as pressões aplicadas no teste em campo. Na presente pesquisa de RDT, os dados referentes à estrutura dos pavimentos (espessuras das camadas e materiais de construção) são os fornecidos através de abertura dos poços de inspeção e coleta de amostras. As bacias de deflexão foram obtidas pelo levantamento deflectométrico realizado com *falling weight deflectometer* (FWD). Com base nas espessuras das camadas dos pavimentos e nas linhas de influência deflectométricas obtidas nas campanhas de abertura dos poços de inspeção e coleta de amostras e levantamento das deflexões por FWD, respectivamente, foram realizados os estudos de retroanálise para determinação dos módulos de resiliência (MR) dos materiais que compõem a estrutura dos pavimentos (sub-leito, sub-base, base e revestimento asfáltico).

Uma melhor compreensão do comportamento estrutural é proporcionada pelos estudos de retroanálise. Através da definição preliminar dos módulos de resiliência (MRs) das camadas definidas pelo poço de inspeção é possível verificar qual das camadas está contribuindo mais com a deformação medida no pavimento. Em particular, o conhecimento dos MRs também permite que seja avaliada a compatibilidade entre as características de deformação dos materiais, ou seja, a compatibilidade elástica entre camadas. Dependendo da estrutura, pavimentos com mesma deflexão podem apresentar condições funcionais caracterizadas pelo trincamento e afundamento de trilha de roda bastante diferentes. Outro aspecto interessante refere-se às classes de deflexão. Trechos com elevada deflexão (>0,8mm) podem estar menos trincados que trechos com deflexões baixas da ordem de 0,3mm.

Quando da execução dos ensaios de laboratório, através da coleta de amostras nos poços de inspeção abertos, foi possível o ensaio em laboratório para a obtenção dos valores de MR de três UAs, onde se obteu os valores de MR da camada de revestimento asfáltico da UA-05, MR da base das UAs 05, 07 e 09, MR da camada de sub-base das UAs 05 e 09 e MR do subleito da UA-09, os valores do MR das camadas obtidos pelo estudo de retroanálise serão comparados com aqueles verificados nos ensaios. O Número Estrutural Corrigido (SNP) determinado no HDM-4

com base na deflexão máxima (Do), também poderá ser reavaliado com os dados de CBR do subleito, conforme preconizado pela Norma DNER-PRO 159/85 e pelo próprio HDM-4.

Variações em propriedades resilientes em uma mesma camada

É importante ressaltar que as propriedades resilientes em uma mesma camada sofrem variações, sendo essa uma limitação nas análises que precisa ser superada. Segundo Balbo (2007), as variações em propriedades resilientes em uma mesma camada estão relacionadas as seguintes condições:

- As tensões e deformações ocorrentes nas fibras das camadas dos pavimentos são dependentes do modulo de resiliência desses materiais.

- Nos revestimentos asfálticos, o modulo de resiliência varia com a temperatura de operação, a qual, na camada, varia com a profundidade.

- Nas bases granulares, o módulo de resiliência é normalmente dependente da tensão de confinamentos. Sabemos que essa tensão de confinamento diminui tanto em termos residuais (de compactação), em posições mais profundas das camadas, quanto em termos de operação, também quanto mais profunda a posição do material.

- O módulo de resiliência dos materiais altera-se em função de condições climáticas distintas, ao longo de um ciclo anual (umidade, temperatura, etc.). Além disso, o módulo de resiliência vai, pouco a pouco, alterando-se na superfície do revestimento, em função de sua oxidação, no fundo do revestimento, em função de sua contaminação, que caminha progressivamente para seu topo.

Metodologia do Estudo de Retroanálise

Para um determinado segmento homogêneo, pode realizar retroanálises por meio de uma bacia deflectométrica única que seja representativa do segmento ou através de análises pontuais. Nesta procede-se à retroanálise de todas as bacias medidas no trecho e, depois, adota-se o módulo de resiliência médio de cada camada. A primeira opção representa economia de tempo. Apresenta-se como uma melhor alternativa a obtenção da bacia média do segmento homogêneo e, a seguir, definem-se duas bacias representativas do trecho, correspondentes as deflexões da bacia média mais um desvio-padrão e menos um desvio padrão para cada ponto da leitura ou de sensor superficial (Medina e Motta, 2015).

Analisou-se o comportamento estrutural por meio de interpretação das linhas de influência deflectométricas fornecidas pelo FWD de cada Unidade de Amostragem (01 a 10 – 10 unidades).

- Em cada UA foram utilizadas 7 pontos de ensaio com o FWD: um ponto no centro da UA e três antes e depois da UA. Foram plotadas as 7 bacias de deflexão num mesmo gráfico para verificar visualmente se a configuração geométrica das bacias são próximas.

- Constado a homogeneidade das linhas de influência deflectométricas, foi realizado um tratamento estatístico, definindo-se: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

- Com base nos resultados do tratamento, definiram-se as linhas de influência deflectométricas inferior e superior (bacia de deflexão média com o desvio padrão acrescido e subtraído). Ao

gráfico das bacias de deflexão foram acrescidas as bacias médias considerando o desvio padrão (limites superior e inferior). Outra verificação visual importante, que permite avaliar se as bacias estão próximas ou contidas dentro dos limites definidos.

- Com os dados em mãos (espessura das camadas, carregamento aplicado, bacias de deflexão e parâmetros de partida fundamentados nas condições do pavimento) foi alimentado o software de retroanálise FAA Backcalculation (BAKFAA), versão 2.0, do órgão aeronáutico dos Estados Unidos (EUA) Federal Aviation Administration (FAA).

- As retroanálises dos módulos de resiliência (MR) foram elaboradas para as duas bacias definidas para cada UA (bacia média + desvio padrão e bacia média - desvio padrão). São adotados os MR que forneceram uma representação teórica da bacia de deflexões próxima da obtida em campo, com tolerância de 10% de variação entre cada deflexão.

- Os valores dos módulos de resiliência (MR) de cada camada são definidos pela média entre os valores dos MR calculados pelos estudos de retroanálise das linhas de influência deflectométrica inferior e superior.

A seguir apresenta-se a metodologia adotada para elaboração dos estudos, exemplificada por meio da UA-01. Para cada Unidade de Amostragem realizou-se o mesmo procedimento.

Unidade de Amostragem UA01 (km 97+625, UF: GO)



A seguir, por meio da UA-01, exemplifica-se a metodologia adotada para determinação dos módulos de resiliência através de estudos de retroanálise.

- Em cada UA foram utilizadas 7 pontos de ensaio com o FWD: um ponto no centro da UA e três antes e depois da UA (Tabela 41). Foram plotadas as 7 bacias de deflexão num mesmo gráfico para verificar visualmente se a configuração geométrica das bacias são próximas (Figura 115).

Tabela 41 - Arranjo das Linhas de Influência Deflectométricas (7 unidades) da UA-01.

UA-01 - km 97 + 625 (GO) - P1 Crescente											
Bacia de Deflexão	km	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)							Temperatura (ºC)	
			0	20	30	45	60	90	120	Ar	Pav
B1	97,350	4100,00	40,27	27,30	19,11	11,07	6,36	2,82	1,37	23,70	31,70
B2	97,450	4100,00	40,00	27,98	19,71	11,96	7,01	2,75	1,81	23,80	32,30
B3	97,550	4100,00	46,13	30,31	20,86	11,53	7,17	2,90	1,79	24,10	31,80
B4	97,650	4100,00	21,45	15,33	11,03	6,50	3,78	1,96	1,43	24,00	31,10
B5	97,750	4100,00	28,50	17,52	11,69	5,80	3,11	1,41	1,21	24,10	31,20
B6	97,850	4100,00	36,33	25,50	19,52	11,95	7,72	3,58	2,31	24,50	31,00
B7	97,950	4100,00	38,01	26,87	20,75	13,16	8,45	3,79	2,56	25,10	30,30

- Constado a homogeneidade das linhas de influência deflectométricas, foi realizado um tratamento estatístico (Tabela 8), definindo-se: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Fez-se o tratamento estatístico dos valores das deflexões recuperáveis em acordo com a norma DNER-PRO 011/79, onde se deve efetuar o cálculo estatístico da deflexão característica correspondente, adotando-se o seguinte procedimento:

a) Tabulam-se os valores individuais das deflexões recuperáveis encontradas (D_i);
b) Calcula-se a média aritmética, D, dos valores individuais (média da amostra);

$$D = \frac{\Sigma D_i}{n}$$

Onde n representa o numero de valores individuais computados;

c) Determina-se o valor do desvio-padrão da amostra, σ, através da expressão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma\,(D_i - D)^2}{n-1}}$$

d) Estabelece-se o intervalo de aceitação para os valores individuais, definindo-o através dos limites $D \pm z\sigma$, onde z será estimado em função de n, mediante o critério constante da tabela apresentada a seguir:

n	Z
3	1
4	1,5
5 - 6	2
7 - 19	2,5
≥ 20	3

Os valores constantes na tabela acima se originam do "Highway Research Board" – Report 17.

e) Segue-se a eliminação de todos os valores individuais da distribuição situados fora do intervalo anteriormente definido, procedendo-se a novo cálculo de D e σ com os valores remanescentes, bem como a fixação dos novos limites do intervalo de aceitação, $D \pm z\sigma$, para a nova situação. Esse procedimento deve ser repetido, em cada caso, tantas vezes sucessivas quantas forem necessárias para o enquadramento de todos os valores individuais remanescentes no intervalo $D \pm z\sigma$ determinado. Os valores de D e σ assim encontrados são considerados, respectivamente, como a média aritmética e o desvio-padrão da amostra.
f) O valor do coeficiente de variação (cv) é determinado, para cada uma das distribuições, através da expressão:

$$cv = \frac{\sigma}{D}$$

g) O valor da deflexão característica é determinado, para cada uma das distribuições, através da expressão:

$$D_c = D + \sigma$$

Onde D e σ representam, respectivamente, a média aritmética e o desvio-padrão da amostra.

Tabela 42 - Tratamento estatístico das deflexões da linha de influência deflectométrica: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Segmento Unidade de Amostragem				Deflexão		Desvio Padrão (DP)	Limite Admissível		Condição	Coeficiente de Variação	Deflexão Característica
UA	Início (km)	Final (km)	Ext (km)				(+)	(-)			
1	97,35	97,95	0,600	D_{0} Médio	35,8	7,64	54,91	16,71	OK	0,21	43,5
				D_{20} Médio	24,4	5,25	37,53	11,27	OK	0,22	29,7
				D_{30} Médio	17,5	3,95	27,39	7,65	OK	0,23	21,5
				D_{45} Médio	10,3	2,68	16,99	3,57	OK	0,26	13,0
				D_{60} Médio	6,2	1,87	10,90	1,56	OK	0,30	8,1
				D_{90} Médio	2,7	0,78	4,68	0,81	OK	0,28	3,5
				D_{120} Médio	1,8	0,46	2,94	0,62	OK	0,26	2,2

Tabela 43 - Definição das linhas de influência deflectométricas médias representativas, incluindo as linhas de influência dos limites inferior e superior determinadas pelo desvio padrão.

UA-01 - km 97 + 625 (GO) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
97,35	**97,95**	**0,600**	**4100**	**D_0**	**D_{20}**	**D_{30}**	**D_{45}**	**D_{60}**	**D_{90}**	**D_{120}**
Média				35,8	24,4	17,5	10,3	6,2	2,7	1,8
Média + Desvio Padrão (DP)				43,5	29,7	21,5	13,0	8,1	3,5	2,2
Média - Desvio Padrão (DP)				28,2	19,1	13,6	7,6	4,4	2,0	1,3

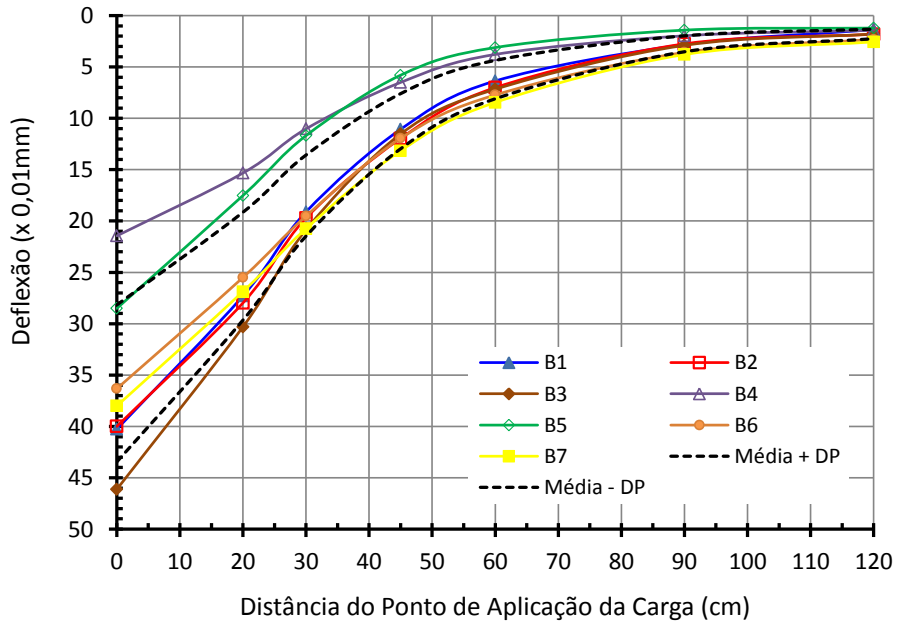


Figura 115 - Plotagem das 7 linhas de influência deflectométricas medidas na UA e linhas de influência dos limites inferior e superior (médias com desvios padrão).

- Com base nos resultados do tratamento (Tabela 43), definiram-se as linhas de influência deflectométricas inferior e superior (bacia de deflexão média com o desvio padrão acrescido e subtraído). Ao gráfico das bacias de deflexão foram acrescidas as bacias médias considerando o desvio padrão (limites superior e inferior) – Figura 115. Outra verificação visual importante, que permite avaliar se as bacias estão próximas ou contidas dentro dos limites definidos.

- Com os dados em mãos (espessura das camadas, carregamento aplicado, bacias de deflexão e parâmetros de partida fundamentados nas condições do pavimento) foi alimentado o software de retroanálise FAA Backcalculation (BAKFAA), versão 2.0, do órgão aeronáutico dos Estados Unidos (EUA) Federal Aviation Administration (FAA). O software de retroanálise BAKFAA encontra-se disponível no site: http://www.airporttech.tc.faa.gov/Download/Airport-Pavement-Papers-Publications-Detail/dt/Detail/ItemID/34/BAKFAA-version-20-update-04012013.

O programa BAKFAA apresenta apenas uma página gráfica em Windows que contém todas as informações necessárias para retroanálise. A Figura 116 apresenta a tela de montagem dos dados: módulo de elasticidade (resiliência MR), coeficiente de Poisson, espessura da camada, nível de carregamento e parâmetro de interface. Os valores de partida dos MRs são retirados de resultados de ensaios divulgados na literatura e na própria experiência.

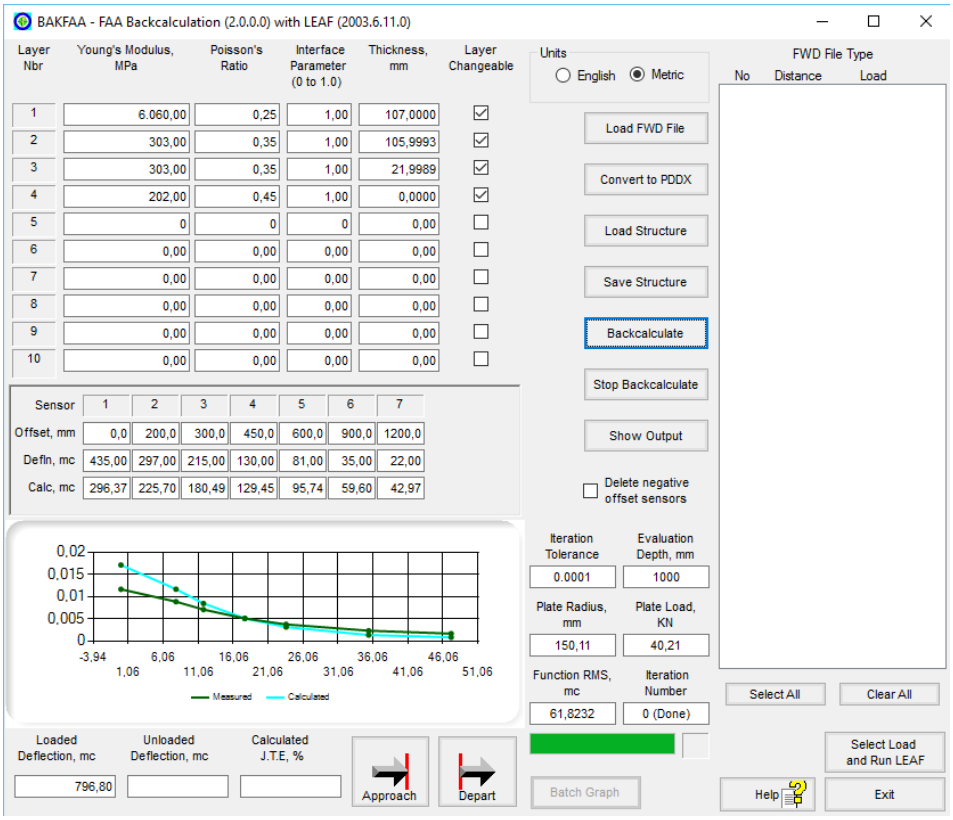
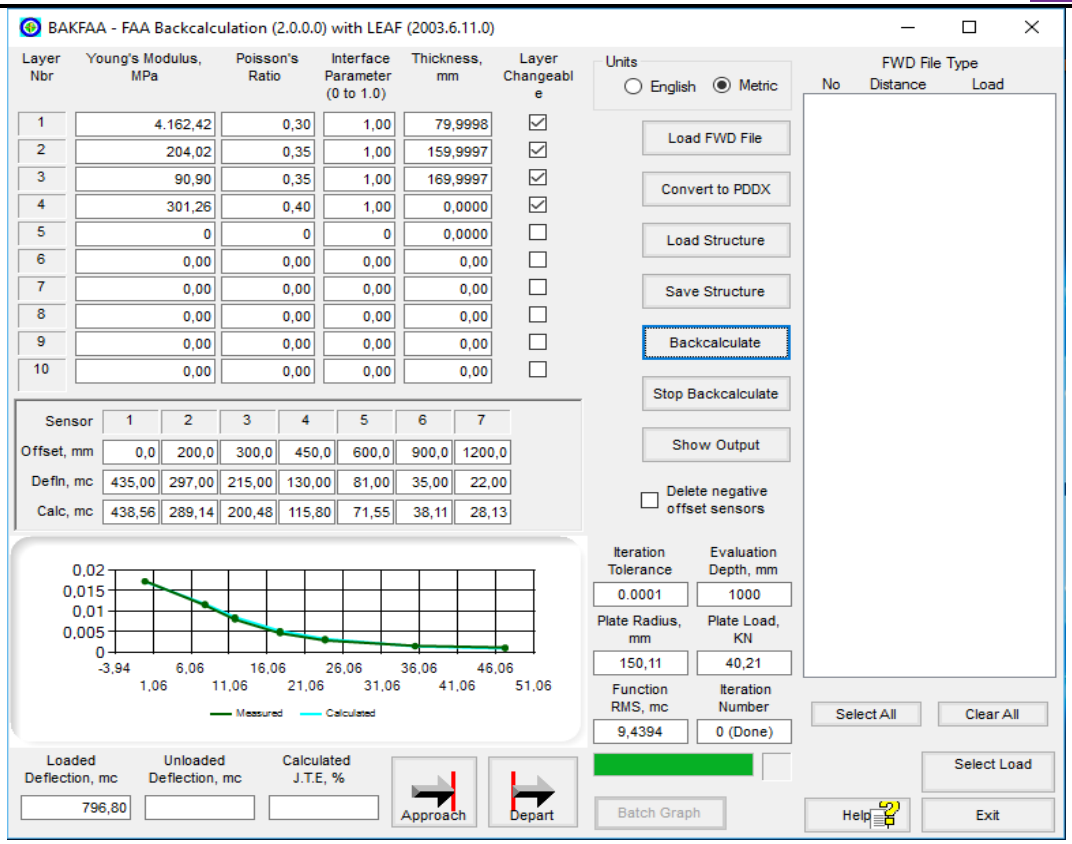


Figura 116 - Software de retroanálise FAA Backcalculation (BAKFAA), versão 2.0, do órgão aeronáutico dos Estados Unidos (EUA) Federal Aviation Administration (FAA).



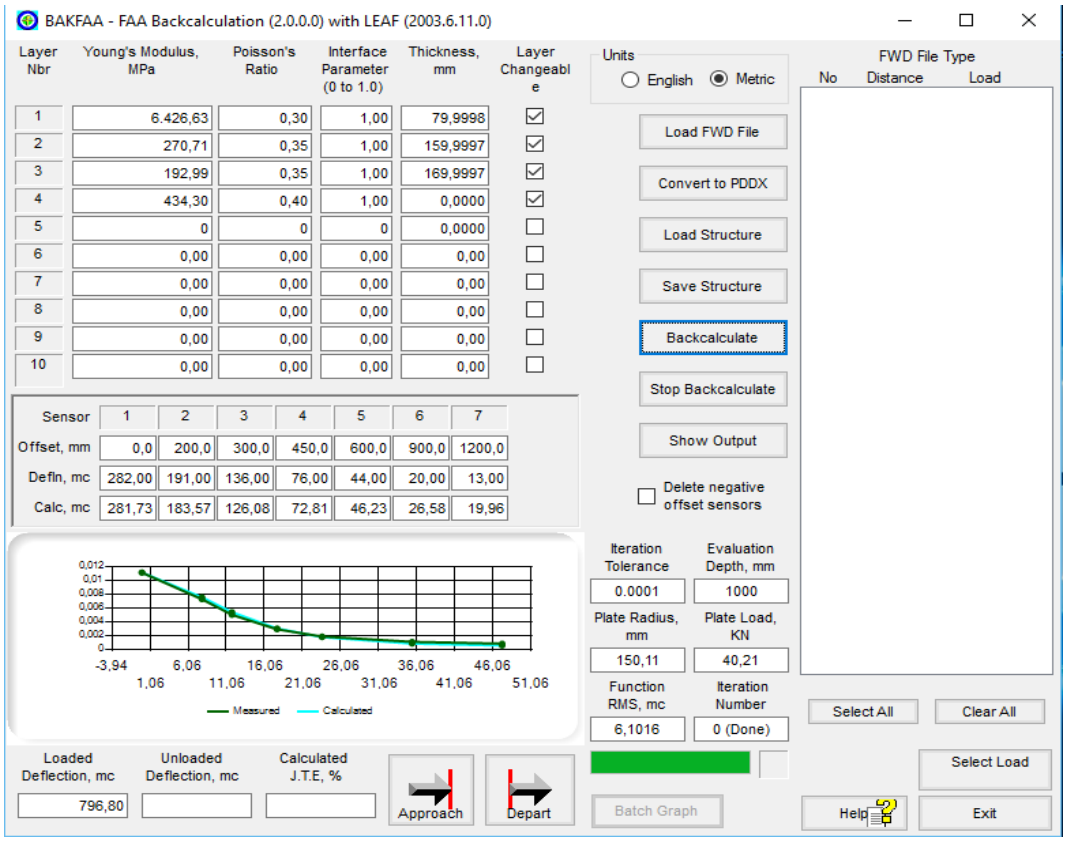


Figura 117 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: dados de entrada e módulos de resiliência calculados por retroanálises das bacias de deflexão média mais um desvio padrão e menos um desvio padrão.

- As retroanálises dos módulos de resiliência (MR) foram elaboradas para as duas bacias definidas para cada UA (bacia média + desvio padrão e bacia média - desvio padrão) – Figura 117.

- Em linhas gerais, o estudo é finalizado quando a bacia medida em campo se iguala à obtida pela modelagem. São adotados os MR que forneceram uma representação teórica da bacia de deflexões próxima da obtida em campo, com tolerância de 10% de variação entre cada deflexão (Tabela 44). Todas as camadas do pavimento são indicadas, devendo-se inserir na planilha eletrônica o módulo de elasticidade da camada, o coeficiente de Poisson, um parâmetro de condição de interface (plenamente aderida = 1) e a espessura. Para aplicação do programa, deve ser fornecido o raio da placa de aplicação de cargas (FWD) e a carga. Para os sete sensores do FWD, devem ser fornecidas suas posições e as respectivas deflexões medidas.

Tabela 44 - Valores de deflexão medidos e calculados pela retroanálise.

UA-01 - km 97 + 625 (GO) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
97,35	97,95	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				35,8	24,4	17,5	10,3	6,2	2,7	1,8
Média (Calculado)				36,0	23,6	16,3	9,4	5,9	3,2	2,4
Média + Desvio Padrão				43,5	29,7	21,5	13,0	8,1	3,5	2,2
Média + Desvio Padrão (Calculado)				43,9	28,9	20,1	11,6	7,2	3,8	2,8
Média - Desvio Padrão				28,2	19,1	13,6	7,6	4,4	2,0	1,3
Média - Desvio Padrão (Calculado)				28,2	18,4	12,6	7,3	4,6	2,7	2,0

- Os valores dos módulos de resiliência (MR) de cada camada são definidos pela média entre os valores dos MR calculados pelo estudos de retroanálise das linhas de influência deflectométrica inferior e superior (Tabela 45).

Tabela 45 - Valores dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento da UA-01 definidos por retroanálise.

Camada	Descrição da Camada	Espessura (cm)	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa) - UA01		
			Média + DP	Média - DP	Valor Médio
CA	CBUQ	8	4162,42	6426,63	5294,53
Base	Cascalho Arenoso	16	204,02	270,71	237,37
Sub-base	Cascalho siltoso rosa	17	90,90	192,99	141,95
Subleito			301,26	434,30	367,78

Unidade de Amostragem UA02 (km 52+065, UF: MG)



Tabela 47 - Arranjo das Linhas de Influência Deflectométricas (7 unidades) da UA-02.

UA-02 - km 52 + 065 (MG) - P1 Crescente											
Bacia de Deflexão	km	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)							Temperatura (ºC)	
			0	20	30	45	60	90	120	Ar	Pav
B1	51,750	4100,00	9,71	8,23	7,66	6,80	6,33	4,86	3,40	30,00	40,00
B2	51,850	4100,00	6,62	5,95	5,62	5,09	4,91	3,85	3,09	30,50	39,10
B3	51,950	4100,00	6,97	5,43	4,95	4,60	4,48	3,60	2,93	30,80	40,30
B4	52,050	4100,00	6,70	5,98	5,83	4,98	4,90	4,39	3,16	30,90	38,80
B5	52,150	4100,00	7,72	5,70	5,35	4,96	4,48	4,15	2,83	31,20	38,70
B6	52,250	4100,00	7,78	6,53	6,25	5,74	5,39	4,76	3,33	31,60	39,30
B7	52,350	4100,00	7,63	6,18	5,94	5,20	5,18	4,42	3,46	31,90	39,10

Tabela 48 - Tratamento estatístico das deflexões da linha de influência deflectométrica: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Segmento Unidade de Amostragem				Deflexão		Desvio Padrão (DP)	Limite Admissível		Condição	Coeficiente de Variação	Deflexão Característica
UA	Início (km)	Final (km)	Ext (km)				(+)	(-)			
2	51,75	52,35	0,600	$D_{0\ Médio}$	7,6	0,98	10,03	5,15	OK	0,13	8,57
				$D_{20\ Médio}$	6,3	0,86	8,43	4,14	OK	0,14	7,14
				$D_{30\ Médio}$	5,9	0,80	7,94	3,94	OK	0,13	6,74
				$D_{45\ Médio}$	5,3	0,67	7,03	3,65	OK	0,13	6,01
				$D_{60\ Médio}$	5,1	0,59	6,57	3,62	OK	0,12	5,69
				$D_{90\ Médio}$	4,3	0,42	5,35	3,23	OK	0,10	4,71
				$D_{120\ Médio}$	3,2	0,22	3,72	2,62	OK	0,07	3,39

Tabela 49 - Definição das linhas de influência deflectométricas médias representativas, incluindo as linhas de influência dos limites inferior e superior determinadas pelo desvio padrão.

UA-02 - km 52 + 065 (MG) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
51,75	52,35	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				7,6	6,3	5,9	5,3	5,1	4,3	3,2
Média + Desvio Padrão				8,6	7,1	6,7	6,0	5,7	4,7	3,4
Média - Desvio Padrão				6,6	5,4	5,1	4,7	4,5	3,9	3,0

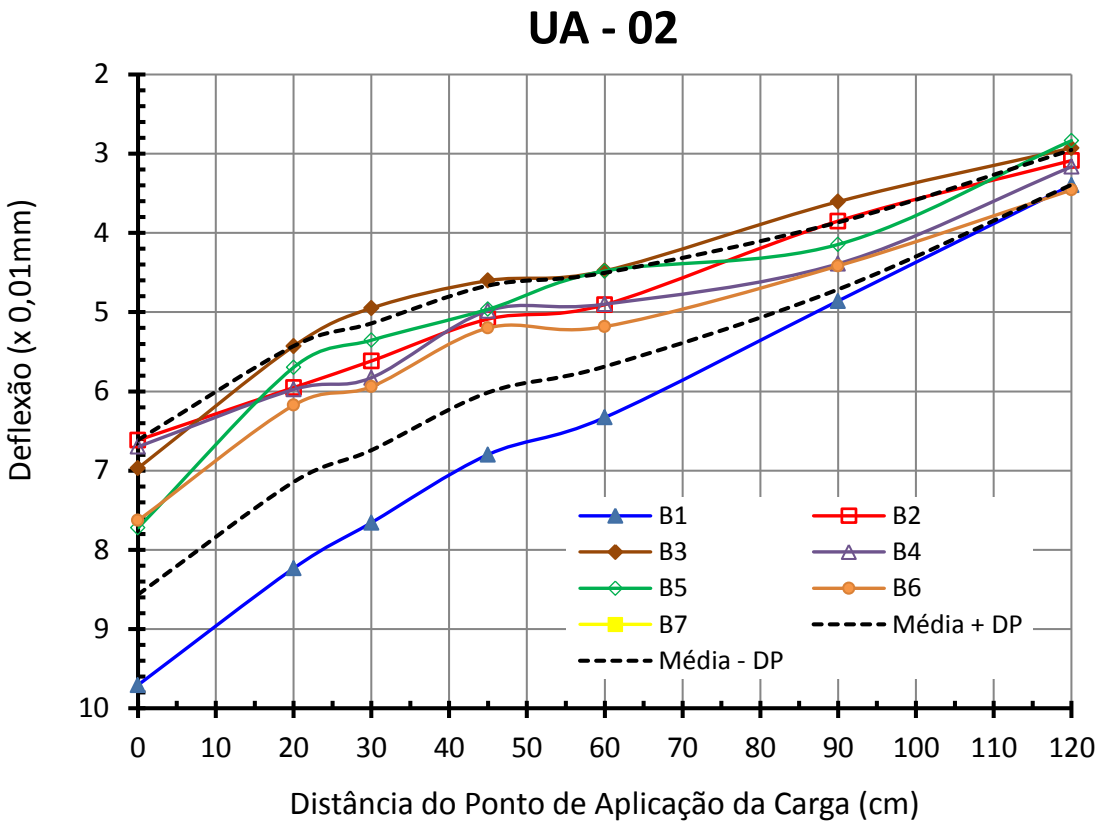


Figura 117 - Plotagem das 7 linhas de influência deflectométricas medidas na UA e linhas de influência dos limites inferior e superior (médias com desvios padrão).

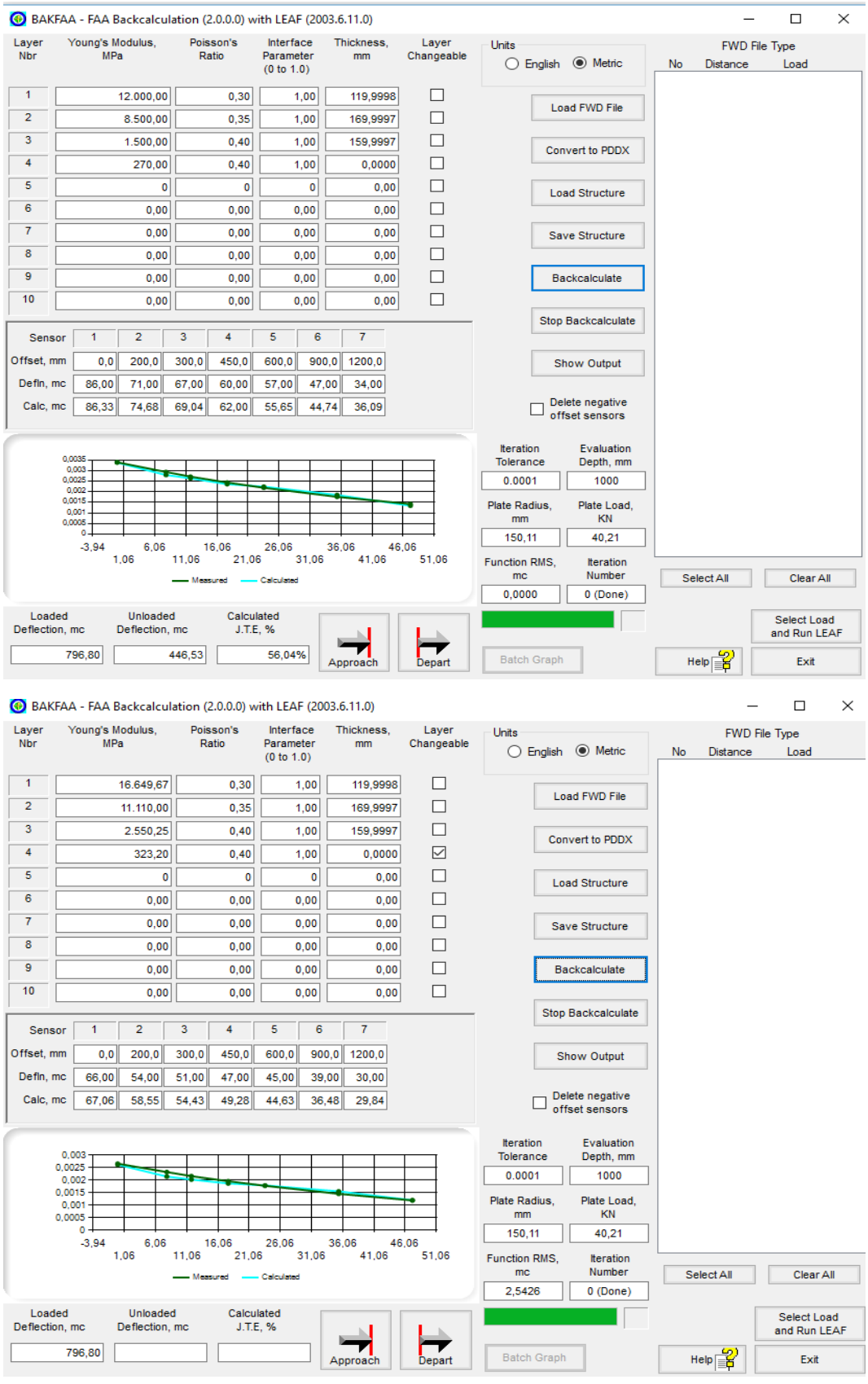


Figura 118 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: dados de entrada e módulos de resiliência calculados por retroanálises das bacias de deflexão média mais e menos desvio.

Tabela 50 - Valores de deflexão medidos e calculados pela retroanálise.

UA-02 - km 52 + 065 (MG) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
51,75	52,35	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				7,6	6,3	5,9	5,3	5,1	4,3	3,2
Média (Calculado)				7,7	6,7	6,2	5,6	5,0	4,1	3,3
Média + Desvio Padrão				8,6	7,1	6,7	6,0	5,7	4,7	3,4
Média + Desvio Padrão (Calculado)				8,6	7,5	6,9	6,2	5,6	4,5	3,6
Média - Desvio Padrão				6,6	5,4	5,1	4,7	4,5	3,9	3,0
Média - Desvio Padrão (Calculado)				6,7	5,9	5,4	4,9	4,5	3,7	3,0

Tabela 51 - Valores dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento da UA-02 definidos por retroanálise.

Camada	Descrição da Camada	Espessura (cm)	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa) - UA02		
			Média + DP	Média - DP	Valor Médio
CA	CBUQ	12	12000,00	16649,67	14324,84
Base	Cascalho Argiloso	17	8500,00	11110,00	9805,00
Subleito	Argila Vermelha	16	1500,00	2550,25	2025,13
Subleito			270,00	323,20	296,60

Unidade de Amostragem UA03 (km 153+250, UF: MG)



Tabela 52 - Arranjo das Linhas de Influência Deflectométricas (7 unidades) da UA-03.

UA-03 - km 153 + 250 (MG) - P1 Crescente											
Bacia de Deflexão	km	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)							Temperatura (°C)	
			0	20	30	45	60	90	120	Ar	Pav
B1	152,950	4100,00	9,02	5,34	4,62	3,59	3,36	2,17	1,65	29,90	32,90
B2	153,050	4100,00	6,91	5,17	4,22	3,51	3,28	2,22	1,88	29,70	32,70
B3	153,150	4100,00	19,07	14,56	11,86	8,76	6,65	3,97	2,77	29,60	32,80
B4	153,250	4100,00	15,63	12,03	9,76	6,95	4,93	2,87	2,05	30,00	32,70
B5	153,350	4100,00	14,57	11,19	8,96	6,03	5,06	3,11	2,21	29,90	32,20
B6	153,450	4100,00	34,58	23,95	18,20	11,24	8,01	3,65	2,64	30,00	32,50
B7	153,550	4100,00	18,10	13,46	10,76	7,33	5,53	3,40	2,48	30,40	32,50

Tabela 53 - Tratamento estatístico das deflexões da linha de influência deflectométrica: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Segmento Unidade de Amostragem				Deflexão		Desvio Padrão (DP)	Limite Admissível		Condição	Coeficiente de Variação	Deflexão Característica
UA	Início (km)	Final (km)	Ext (km)				(+)	(-)			
3	152,95	153,55	0,600	$D_{0\ Médio}$	16,8	8,35	37,71	-4,03	OK	0,50	25,19
				$D_{20\ Médio}$	12,2	5,89	26,96	-2,48	OK	0,48	18,13
				$D_{30\ Médio}$	9,8	4,38	20,72	-1,18	OK	0,45	14,15
				$D_{45\ Médio}$	6,8	2,55	13,15	0,39	OK	0,38	9,32
				$D_{60\ Médio}$	5,3	1,57	9,18	1,34	OK	0,30	6,83
				$D_{90\ Médio}$	3,1	0,64	4,65	1,47	OK	0,21	3,69
				$D_{120\ Médio}$	2,2	0,38	3,19	1,29	OK	0,17	2,62

Tabela 54 - Definição das linhas de influência deflectométricas médias representativas, incluindo as linhas de influência dos limites inferior e superior determinadas pelo desvio padrão.

UA-03 - km 153 + 250 (MG) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
152,95	153,55	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				16,8	12,2	9,8	6,8	5,3	3,1	2,2
Média + Desvio Padrão				25,2	18,1	14,2	9,3	6,8	3,7	2,6
Média - Desvio Padrão				8,5	6,4	5,4	4,2	3,7	2,4	1,9

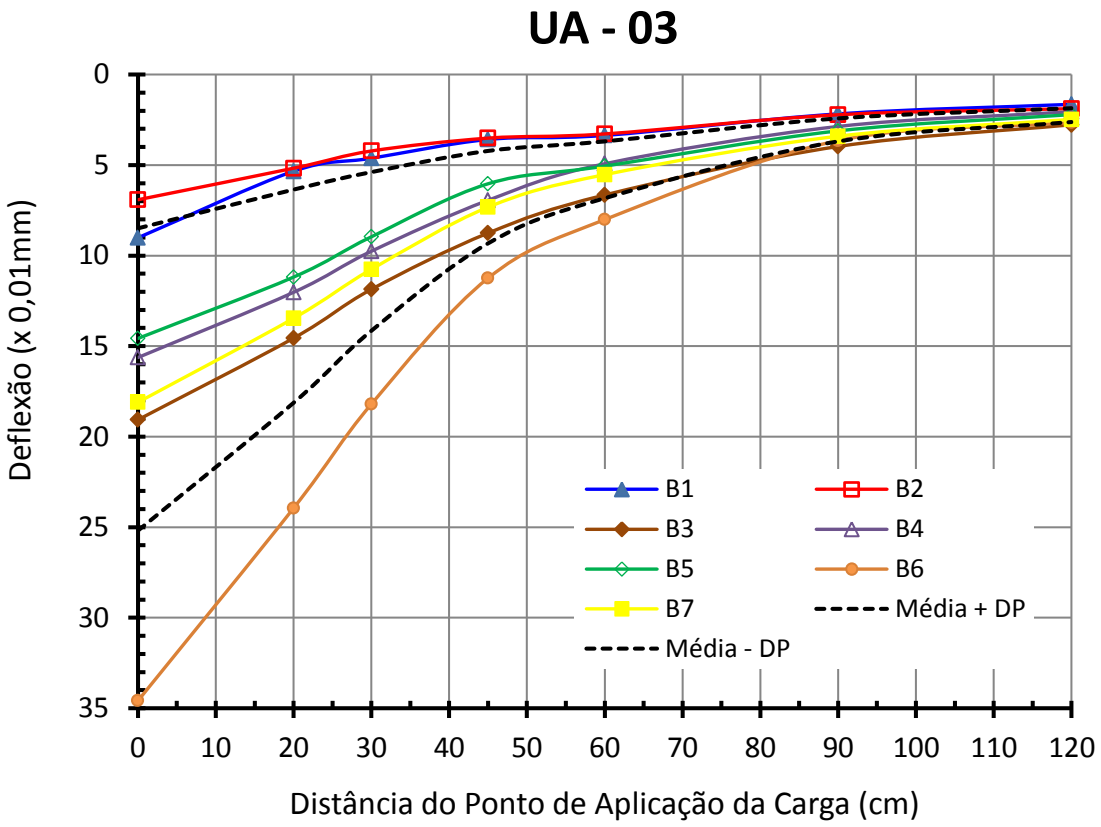


Figura 119 - Plotagem das 7 linhas de influência deflectométricas medidas na UA e linhas de influência dos limites inferior e superior (médias com desvios padrão).

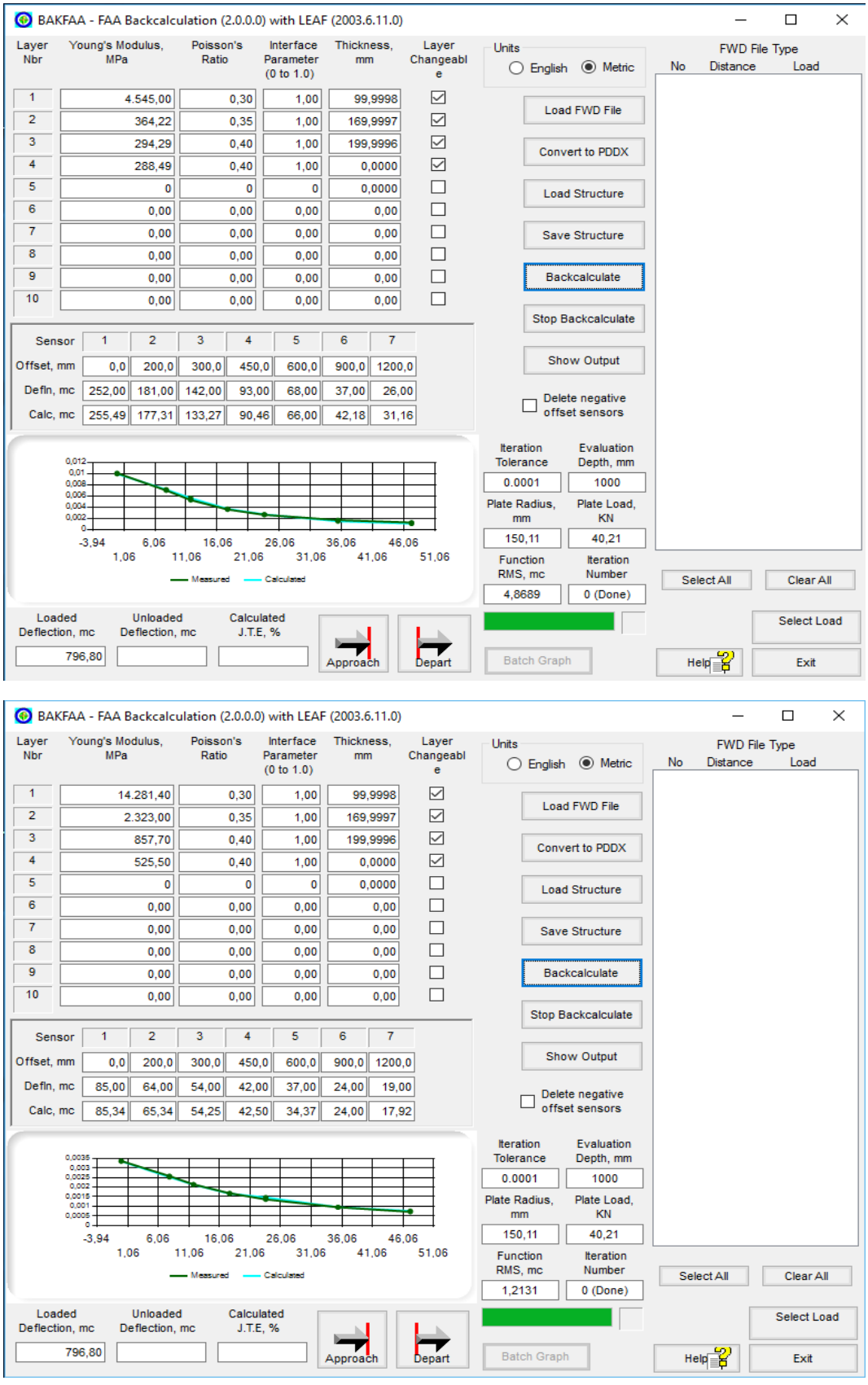


Figura 120 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: dados de entrada e módulos de resiliência calculados por retroanálises das bacias de deflexão média mais e menos desvio.

Tabela 55 - Valores de deflexão medidos e calculados pela retroanálise.

UA-03 - km 153 + 250 (MG) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
152,95	153,55	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				16,8	12,2	9,8	6,8	5,3	3,1	2,2
Média (Calculado)				17,0	12,1	9,4	6,7	5,0	3,3	2,5
Média + Desvio Padrão				25,2	18,1	14,2	9,3	6,8	3,7	2,6
Média + Desvio Padrão (Calculado)				25,6	17,7	13,3	9,1	6,6	4,2	3,1
Média - Desvio Padrão				8,5	6,4	5,4	4,2	3,7	2,4	1,9
Média - Desvio Padrão (Calculado)				8,5	6,5	5,4	4,3	3,4	2,4	1,8

Tabela 56 - Valores dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento da UA-03 definidos por retroanálise.

Camada	Descrição da Camada	Espessura (cm)	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa) - UA03		
			Média + DP	Média - DP	Valor Médio
CA	CBUQ	10	4545,00	14281,40	9413,20
Base	Argila Arenosa	17	364,22	2323,00	1343,61
Subleito	Silte Rosa	20	294,29	857,70	576,00
Subleito			288,49	525,50	407,00

Unidade de Amostragem UA04 (km 260+470, UF: MG)



Tabela 57 - Arranjo das Linhas de Influência Deflectométricas (7 unidades) da UA-04.

UA-04 - km260 + 470 (MG) - P1 Crescente											
Bacia de Deflexão	km	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)							Temperatura (ºC)	
			0	20	30	45	60	90	120	Ar	Pav
B1	260,150	4100,00	27,74	15,11	9,74	5,20	3,62	1,92	1,28	41,40	55,70
B2	260,250	4100,00	26,42	16,62	11,01	5,83	4,01	2,27	1,82	41,70	55,70
B3	260,350	4100,00	22,08	12,48	8,16	4,61	3,57	1,69	1,60	41,20	54,70
B4	260,450	4100,00	15,88	9,68	7,68	5,12	4,09	2,91	2,46	41,50	55,20
B5	260,750	4100,00	26,39	14,58	9,39	4,59	2,51	1,66	1,38	41,60	55,40
B6	260,850	4100,00	19,74	10,18	6,08	2,93	2,31	1,50	0,77	42,30	55,30
B7	260,950	4100,00	21,91	15,20	11,38	6,28	3,34	1,87	1,68	42,20	55,60

Tabela 58 - Tratamento estatístico das deflexões da linha de influência deflectométrica: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Segmento Unidade de Amostragem				Deflexão		Desvio Padrão (DP)	Limite Admissível		Condição	Coeficiente de Variação	Deflexão Característica
UA	Início (km)	Final (km)	Ext (km)				(+)	(-)			
4	260,15	260,95	0,800	$D_{0\ Médio}$	22,9	3,94	32,74	13,02	OK	0,17	26,82
				$D_{20\ Médio}$	13,4	2,48	19,60	7,21	OK	0,18	15,89
				$D_{30\ Médio}$	9,1	1,75	13,43	4,70	OK	0,19	10,81
				$D_{45\ Médio}$	4,9	1,00	7,43	2,45	OK	0,20	5,93
				$D_{60\ Médio}$	3,3	0,64	4,96	1,74	OK	0,19	3,99
				$D_{90\ Médio}$	2,0	0,45	3,09	0,86	OK	0,23	2,42
				$D_{120\ Médio}$	1,6	0,48	2,78	0,37	OK	0,31	2,05

Tabela 59 - Definição das linhas de influência deflectométricas médias representativas, incluindo as linhas de influência dos limites inferior e superior determinadas pelo desvio padrão.

UA-04 - km260 + 470 (MG) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
260,15	260,95	0,800	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				22,9	13,4	9,1	4,9	3,3	2,0	1,6
Média + Desvio Padrão				26,8	15,9	10,8	5,9	4,0	2,4	2,1
Média - Desvio Padrão				18,9	10,9	7,3	3,9	2,7	1,5	1,1

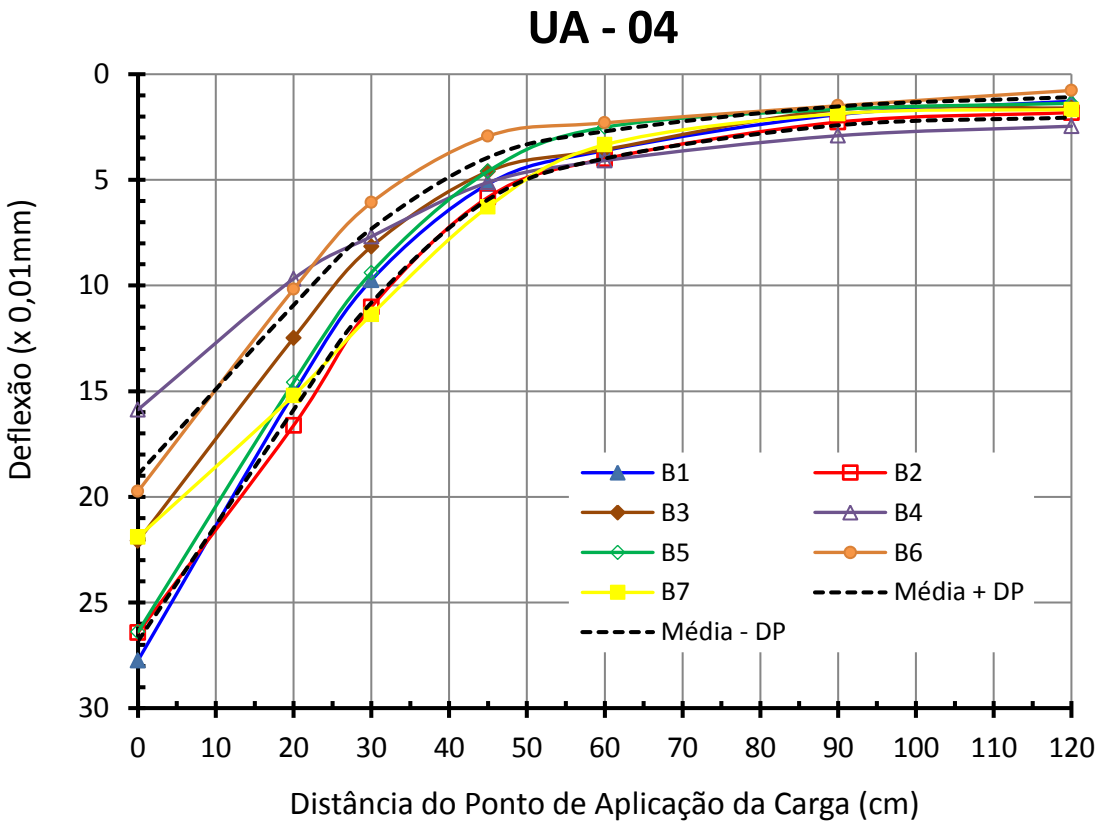
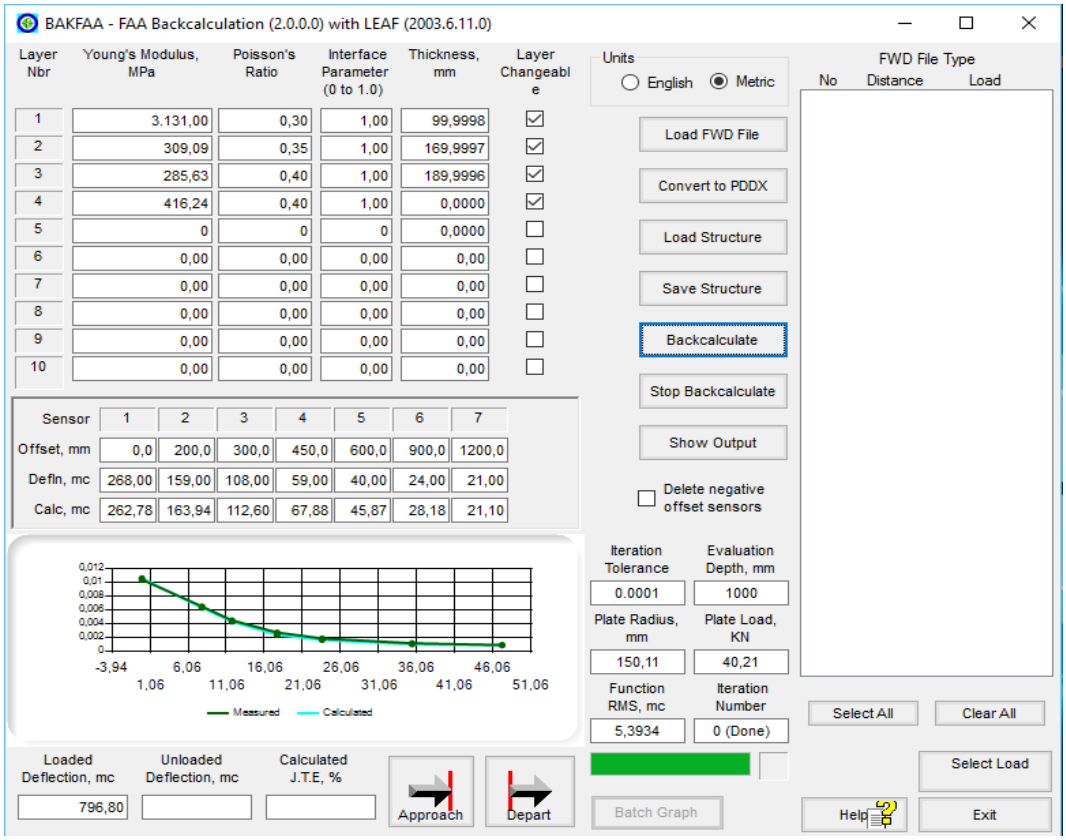


Figura 121 - Plotagem das 7 linhas de influência deflectométricas medidas na UA e linhas de influência dos limites inferior e superior (médias com desvios padrão).



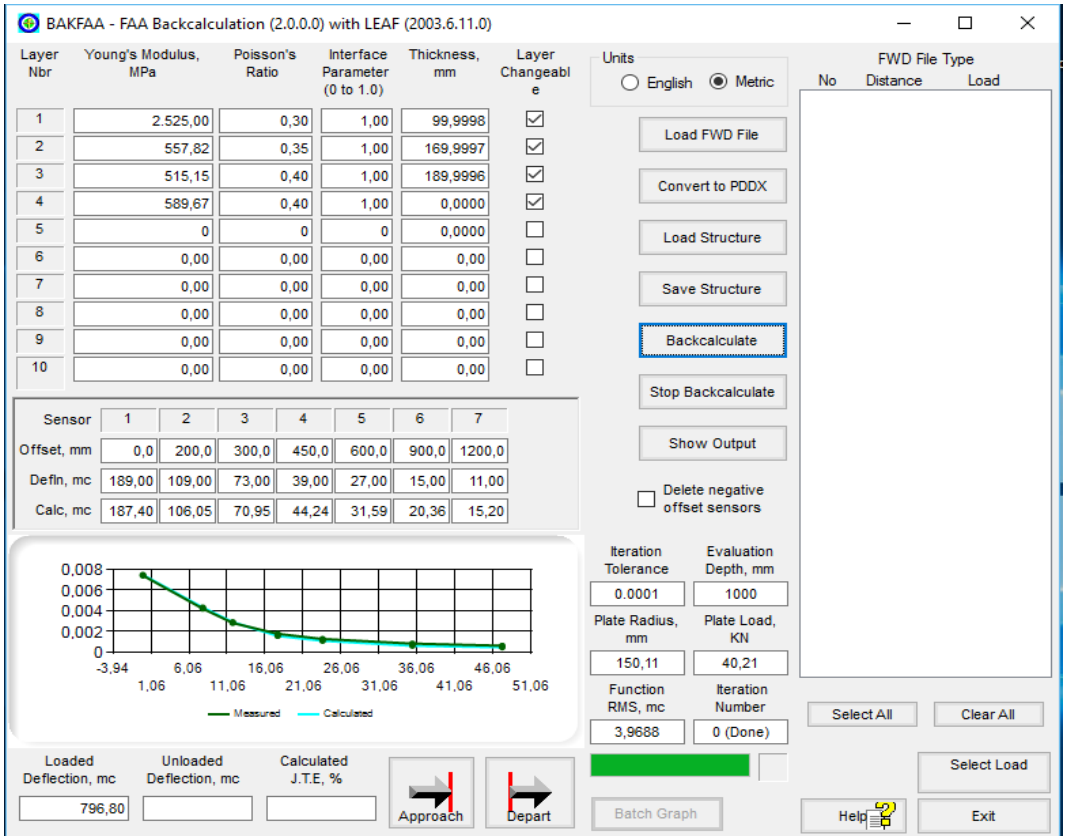


Figura 122 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: dados de entrada e módulos de resiliência calculados por retroanálises das bacias de deflexão média mais e menos desvio.

Tabela 60 - Valores de deflexão medidos e calculados pela retroanálise.

UA-04 - km260 + 470 (MG) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
260,15	260,95	0,800	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				22,9	13,4	9,1	4,9	3,3	2,0	1,6
Média (Calculado)				22,5	13,5	9,2	5,6	3,9	2,4	1,8
Média + Desvio Padrão				26,8	15,9	10,8	5,9	4,0	2,4	2,1
Média + Desvio Padrão (Calculado)				26,3	16,4	11,3	6,8	4,6	2,8	2,1
Média - Desvio Padrão				18,9	10,9	7,3	3,9	2,7	1,5	1,1
Média - Desvio Padrão (Calculado)				18,7	10,6	7,1	4,4	3,2	2,0	1,5

Tabela 61 - Valores dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento da UA-04 definidos por retroanálise.

Camada	Descrição da Camada	Espessura (cm)	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa) - UA04		
			Média + DP	Média - DP	Valor Médio
CA	CBUQ	10	3131,00	2525,00	2828,00
Base	Cascalho Arenoso	17	309,09	557,82	433,46
Subleito	Argila Arenosa	19	285,63	515,15	400,39
Subleito			416,24	589,67	502,96

Unidade de Amostragem UA05 (km 352+550 UF: MG)



Tabela 62 - Arranjo das Linhas de Influência Deflectométricas (7 unidades) da UA-05.

UA-05 - km 352 + 550 (MG) - P1 Crescente											
Bacia de Deflexão	km	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)							Temperatura (ºC)	
			0	20	30	45	60	90	120	Ar	Pav
B1	352,250	4100,00	29,81	20,89	16,38	11,21	9,95	4,91	3,46	33,90	36,50
B2	352,350	4100,00	38,82	25,59	18,68	11,76	7,44	4,13	3,78	34,00	36,70
B3	352,450	4100,00	36,66	24,64	19,52	12,65	9,02	4,86	3,21	34,00	36,40
B4	352,550	4100,00	41,09	28,32	22,29	15,37	11,80	6,38	4,16	33,90	36,20
B5	352,650	4100,00	37,20	25,05	18,94	12,18	8,13	5,11	4,48	33,50	35,40
B6	352,750	4100,00	31,80	23,16	18,54	13,32	9,94	5,44	3,70	33,40	36,20
B7	352,850	4100,00	36,95	24,41	18,61	12,39	7,89	4,47	3,59	33,20	36,50

Tabela 63 - Tratamento estatístico das deflexões da linha de influência deflectométrica: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Segmento Unidade de Amostragem				Deflexão		Desvio Padrão (DP)	Limite Admissível		Condição	Coeficiente de Variação	Deflexão Característica
UA	Início (km)	Final (km)	Ext (km)				(+)	(-)			
5	352,25	352,85	0,600	$D_{0\ Médio}$	36,0	3,64	45,14	26,96	OK	0,10	39,68
				$D_{20\ Médio}$	24,6	2,10	29,83	19,33	OK	0,09	26,68
				$D_{30\ Médio}$	19,0	1,62	23,05	14,94	OK	0,09	20,62
				$D_{45\ Médio}$	12,7	1,25	15,83	9,57	OK	0,10	13,95
				$D_{60\ Médio}$	9,2	1,41	12,69	5,65	OK	0,15	10,57
				$D_{90\ Médio}$	5,0	0,67	6,72	3,37	OK	0,13	5,71
				$D_{120\ Médio}$	3,8	0,40	4,76	2,77	OK	0,11	4,16

Tabela 64 - Definição das linhas de influência deflectométricas médias representativas, incluindo as linhas de influência dos limites inferior e superior determinadas pelo desvio padrão.

UA-05 - km 352 + 550 (MG) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
352,25	352,85	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				36,0	24,6	19,0	12,7	9,2	5,0	3,8
Média + Desvio Padrão				39,7	26,7	20,6	13,9	10,6	5,7	4,2
Média - Desvio Padrão				32,4	22,5	17,4	11,4	7,8	4,4	3,4

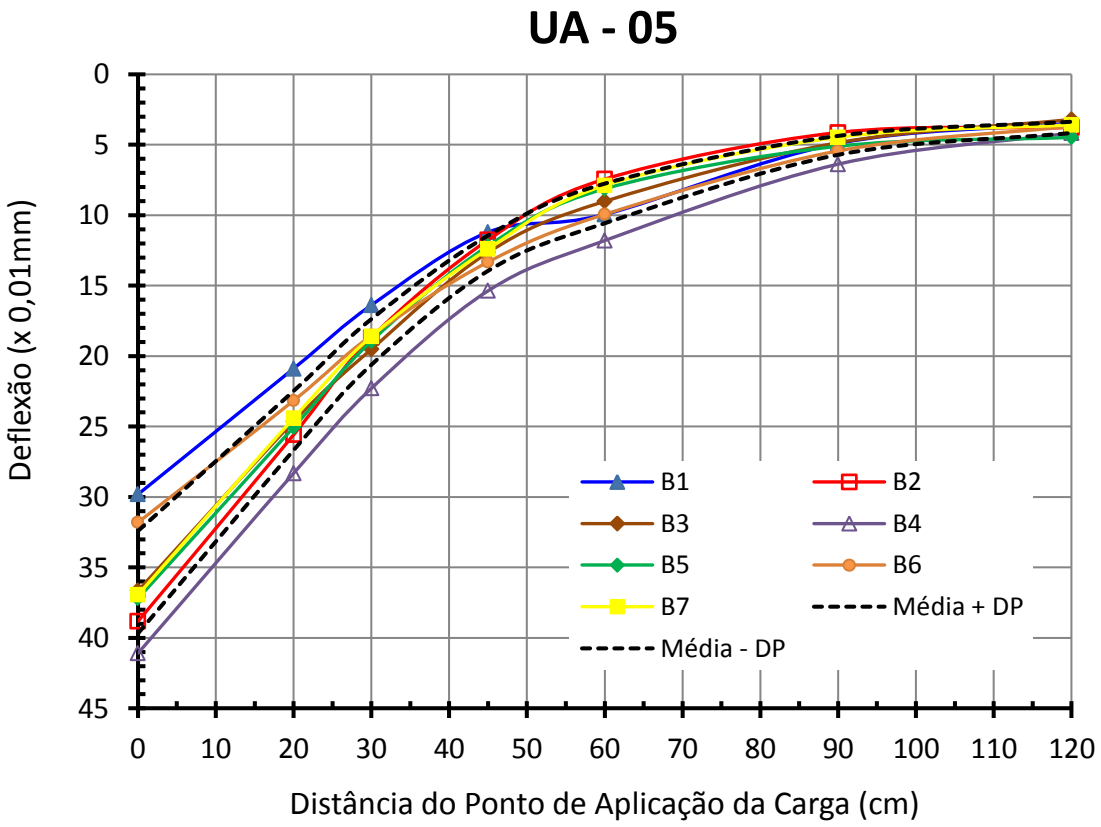


Figura 123 - Plotagem das 7 linhas de influência deflectométricas medidas na UA e linhas de influência dos limites inferior e superior (médias com desvios padrão).

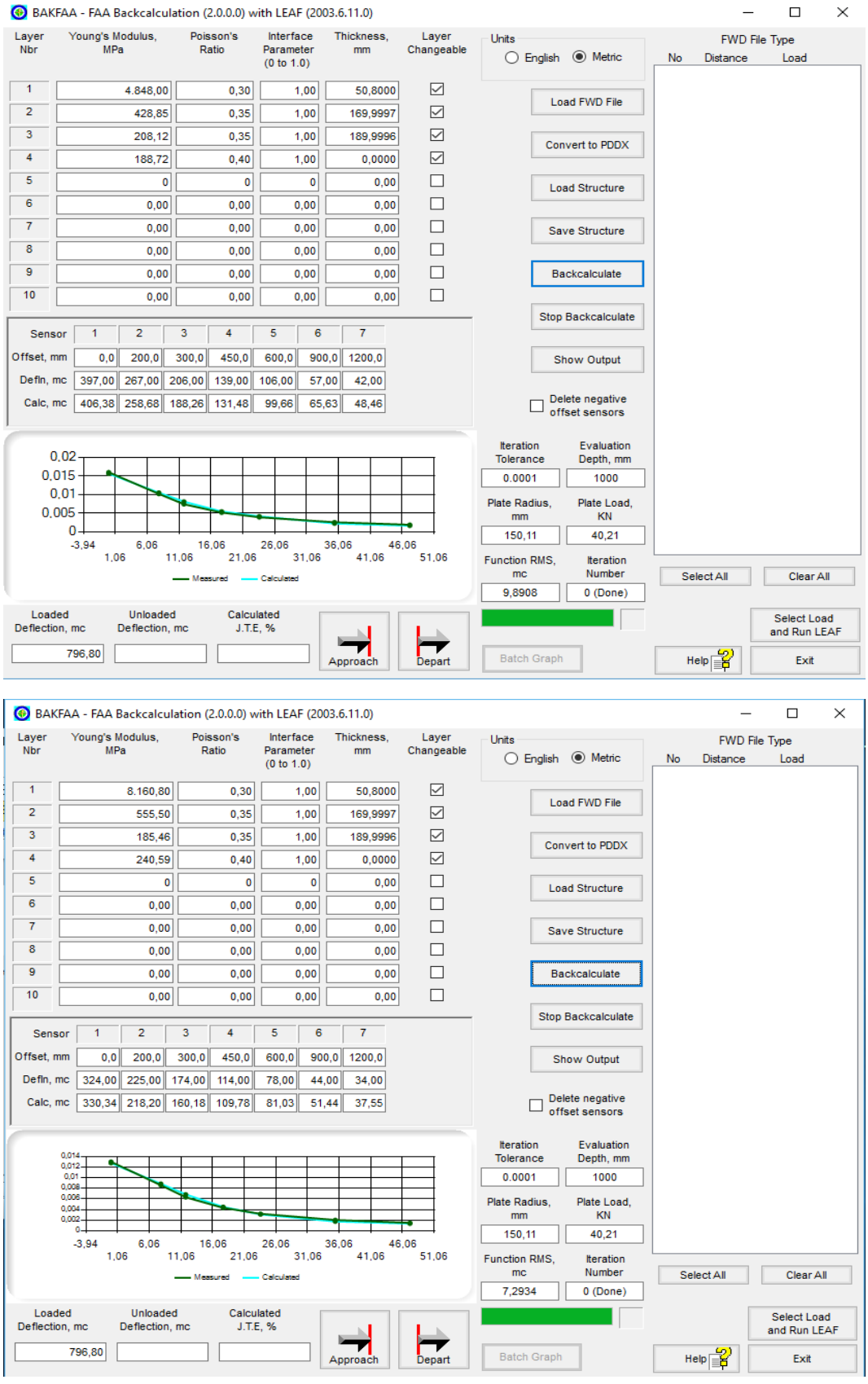


Figura 124 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: dados de entrada e módulos de resiliência calculados por retroanálises das bacias de deflexão média mais e menos desvio.

Tabela 65 - Valores de deflexão medidos e calculados pela retroanálise.

UA-05 - km 352 + 550 (MG) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
352,25	352,85	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				36,0	24,6	19,0	12,7	9,2	5,0	3,8
Média (Calculado)				36,8	23,8	17,4	12,1	9,0	5,9	4,3
Média + Desvio Padrão				39,7	26,7	20,6	13,9	10,6	5,7	4,2
Média + Desvio Padrão (Calculado)				40,6	25,9	18,8	13,1	10,0	6,6	4,8
Média - Desvio Padrão				32,4	22,5	17,4	11,4	7,8	4,4	3,4
Média - Desvio Padrão (Calculado)				33,0	21,8	16,0	11,0	8,1	5,1	3,8

Tabela 66 - Valores dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento da UA-05 definidos por retroanálise.

Camada	Descrição da Camada	Espessura (cm)	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa) - UA05		
			Média + DP	Média - DP	Valor Médio
CA	CBUQ	5	4848,00	8160,80	6504,40
Base	Bica Corrida	17	428,85	555,50	492,18
Sub-base	Cascalho Arenoso	19	208,12	185,46	196,79
Subleito			188,72	240,59	214,66

Na presente UA, no estudo de retroanálise não foram obtidos os mesmos valores de módulo de resiliência MR obtidos em laboratório.

Na Figura 125 apresenta-se o estudo de retroanálise no qual se adotaram os valores médios de MR resultantes dos ensaios de laboratório. Foram ensaiadas as camadas de revestimento asfáltico, base e sub-base. Observa-se que as bacias de deflexão, medida em campo e obtida com base nos valores dos ensaios, se diferem em formato nos pontos de deflexão D0 e D1 da linha de influência deflectométrica. Essa diferença pode ocorrer devida: (i) a presença de trincas longitudinais e transversais próximas ao ponto de deflexão máxima, o que gera descontinuidade no bulbo de tensões, reduzindo a transmissão de carga durante o ensaio do FWD; (ii) diferença de temperatura da mistura asfáltica durante o ensaio de deflexão por FWD em campo e de MR em laboratório; e (ii) amostra retirada para ensaio em laboratório em ponto diferente do ensaio de deflexão. Esses aspectos são discutidos em Costa (2015).

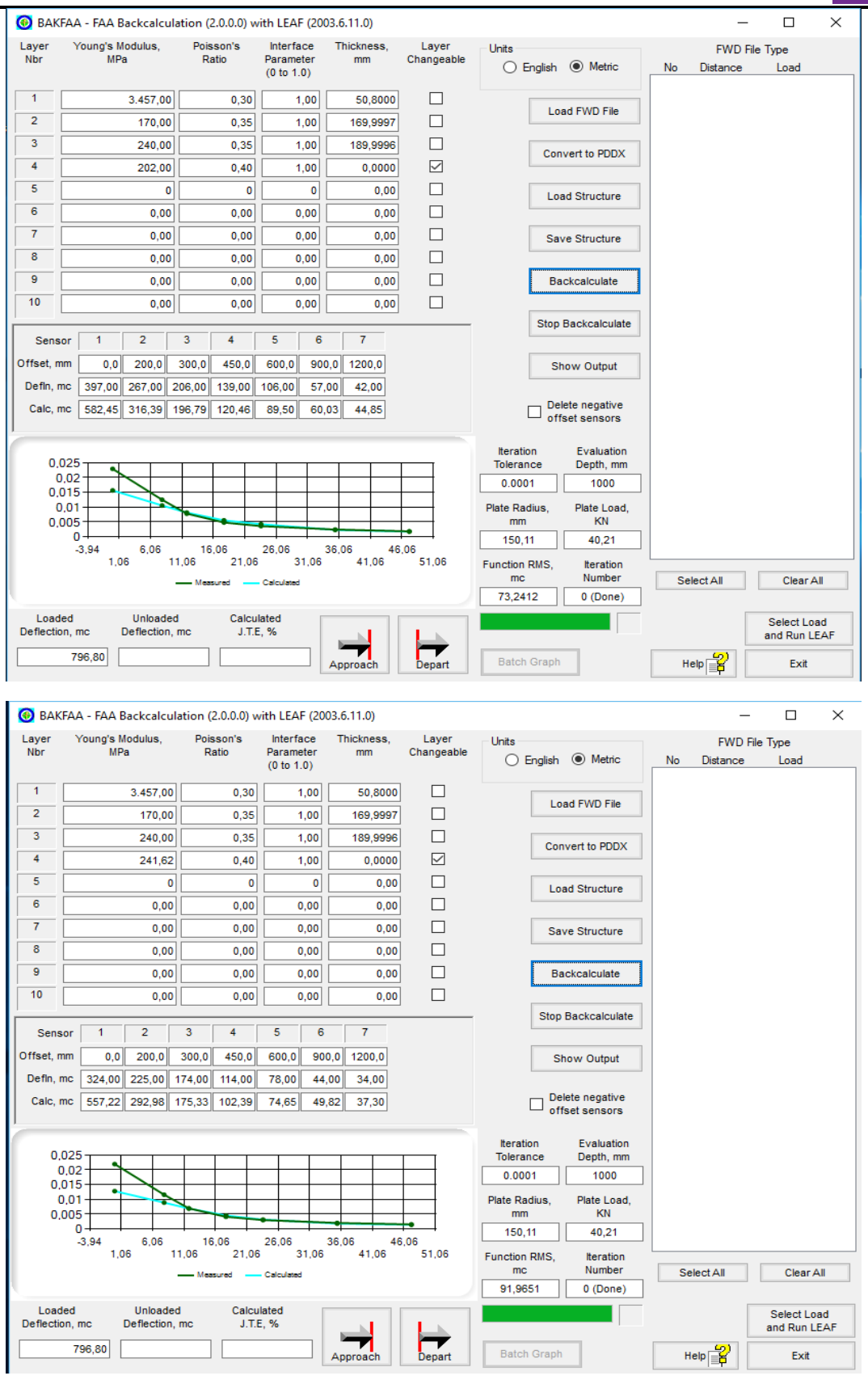


Figura 125 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: utilizando os MRs definidos por ensaio de laboratório (bacias de deflexão média mais e menos desvio).

Unidade de Amostragem UA06 (km 407+650, UF: MG)



Tabela 67 - Arranjo das Linhas de Influência Deflectométricas (7 unidades) da UA-06.

UA-06 – km 407 + 650 (MG) - P1 Crescente											
Bacia de Deflexão	km	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)							Temperatura (ºC)	
			0	20	30	45	60	90	120	Ar	Pav
B1	407,350	4100,00	45,09	31,08	23,95	17,70	13,56	8,32	5,74	36,40	42,30
B2	407,450	4100,00	48,32	31,17	24,96	17,99	13,75	7,84	5,68	36,40	41,90
B3	407,550	4100,00	49,35	32,83	26,25	19,92	16,06	9,98	6,37	35,90	41,20
B4	407,650	4100,00	51,86	32,38	25,03	17,02	12,07	6,71	5,02	35,90	41,20
B5	407,750	4100,00	48,60	31,93	25,23	17,76	13,05	7,27	4,92	36,10	41,80
B6	407,850	4100,00	36,36	23,37	17,15	11,40	7,74	4,66	3,98	36,30	42,10
B7	407,950	4100,00	56,04	36,45	26,34	18,32	13,00	8,20	6,48	36,30	39,10

Tabela 68 - Tratamento estatístico das deflexões da linha de influência deflectométrica: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Segmento Unidade de Amostragem				Deflexão		Desvio Padrão (DP)	Limite Admissível		Condição	Coeficiente de Variação	Deflexão Característica
UA	Início (km)	Final (km)	Ext (km)				(+)	(-)			
6	407,35	407,95	0,600	$D_{0\ Médio}$	47,9	5,68	62,14	33,75	OK	0,12	53,62
				$D_{20\ Médio}$	31,3	3,65	40,44	22,19	OK	0,12	34,97
				$D_{30\ Médio}$	24,1	2,95	31,50	16,76	OK	0,12	27,08
				$D_{45\ Médio}$	17,2	2,49	23,39	10,92	OK	0,15	19,65
				$D_{60\ Médio}$	12,7	2,34	18,59	6,90	OK	0,18	15,09
				$D_{90\ Médio}$	7,6	1,52	11,37	3,77	OK	0,20	9,09
				$D_{120\ Médio}$	5,5	0,82	7,50	3,41	OK	0,15	6,27

Tabela 69 - Definição das linhas de influência deflectométricas médias representativas, incluindo as linhas de influência dos limites inferior e superior determinadas pelo desvio padrão.

UA-06 – km 407 + 650 (MG) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
407,35	407,95	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				47,9	31,3	24,1	17,2	12,7	7,6	5,5
Média + Desvio Padrão				53,6	35,0	27,1	19,7	15,1	9,1	6,3
Média - Desvio Padrão				42,3	27,7	21,2	14,7	10,4	6,0	4,6

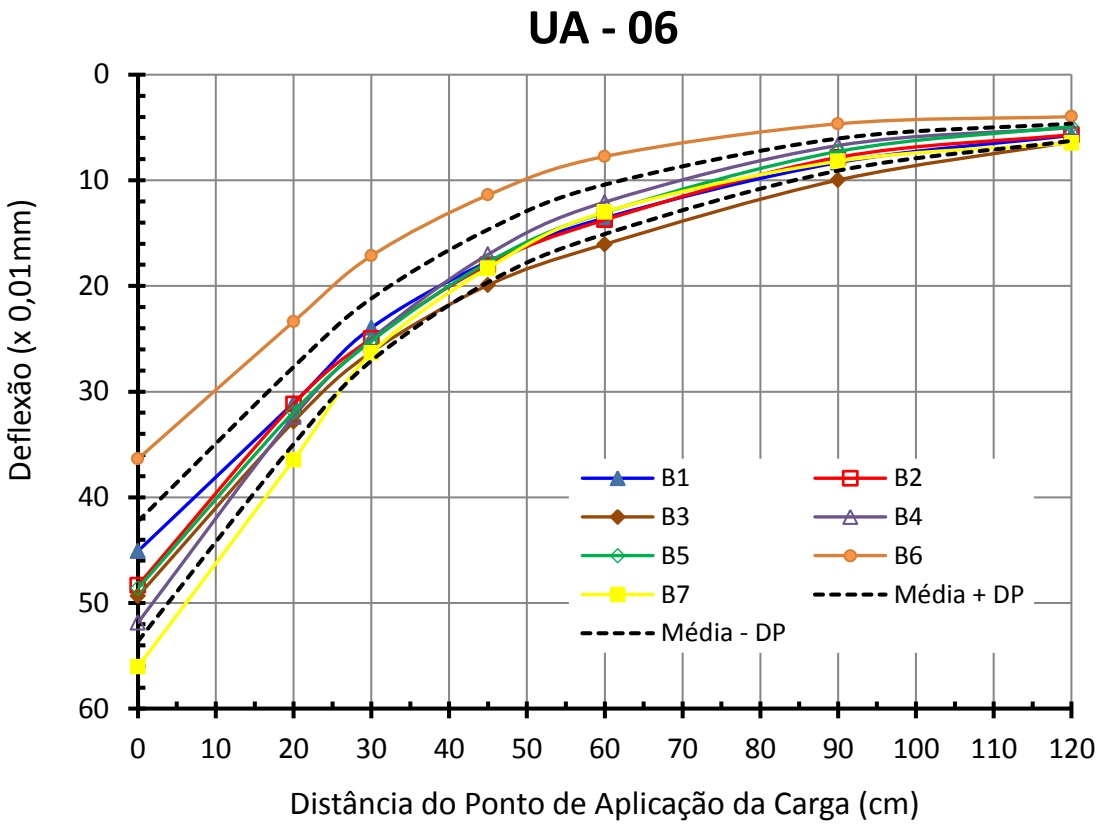


Figura 126 - Plotagem das 7 linhas de influência deflectométricas medidas na UA e linhas de influência dos limites inferior e superior (médias com desvios padrão).

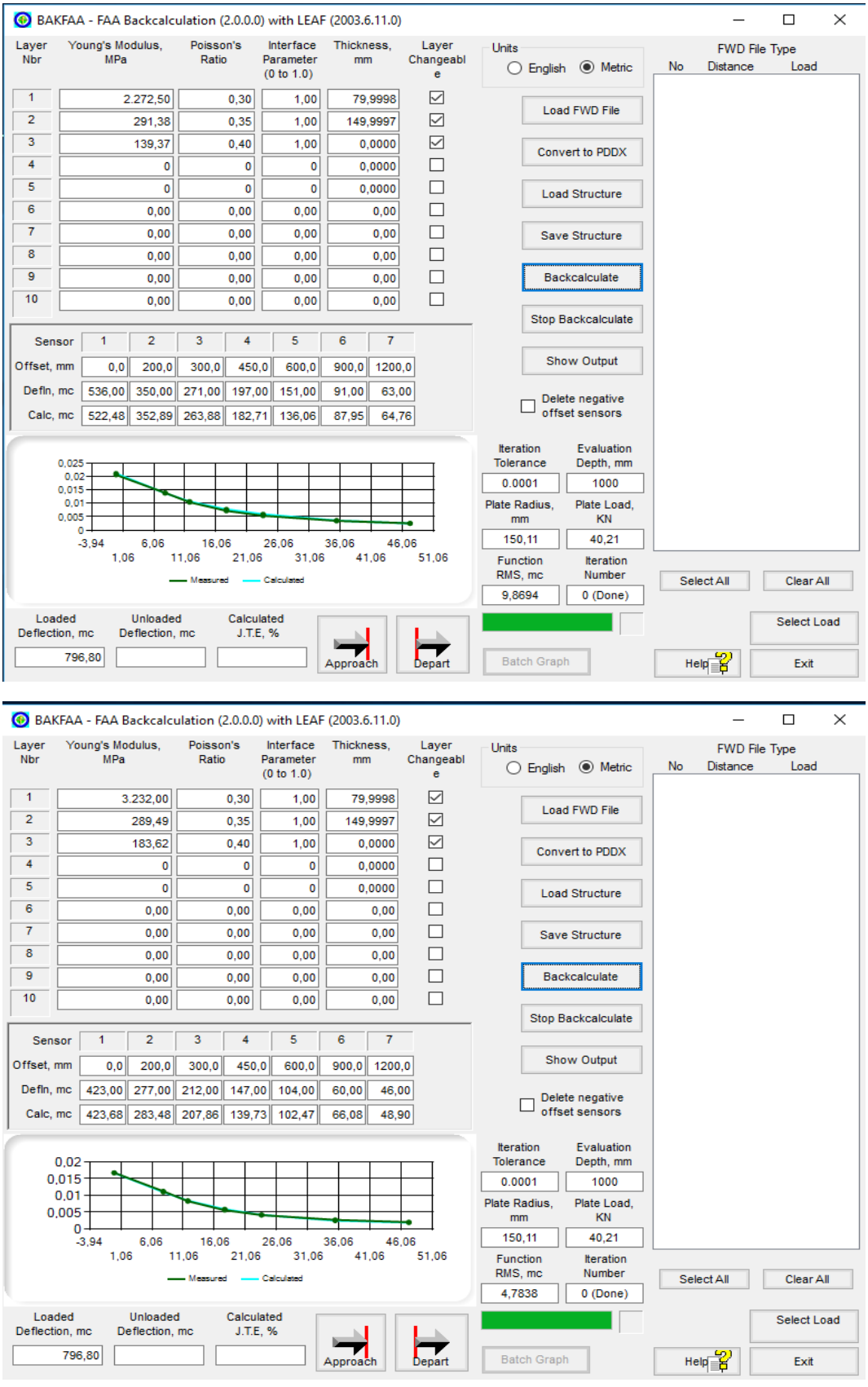


Figura 127 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: dados de entrada e módulos de resiliência calculados por retroanálises das bacias de deflexão média mais e menos desvio.

Tabela 70 - Valores de deflexão medidos e calculados pela retroanálise.

UA-06 – km 407 + 650 (MG) - P1 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
407,35	407,95	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				47,9	31,3	24,1	17,2	12,7	7,6	5,5
Média (Calculado)				47,3	31,8	23,6	16,1	11,9	7,7	5,7
Média + Desvio Padrão				53,6	35,0	27,1	19,7	15,1	9,1	6,3
Média + Desvio Padrão (Calculado)				52,2	35,3	26,4	18,3	13,6	8,8	6,5
Média - Desvio Padrão				42,3	27,7	21,2	14,7	10,4	6,0	4,6
Média - Desvio Padrão (Calculado)				42,4	28,3	20,8	14,0	10,2	6,6	4,9

Tabela 71 - Valores dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento da UA-06 definidos por retroanálise.

Camada	Descrição da Camada	Espessura (cm)	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa) - UA06		
			Média + DP	Média - DP	Valor Médio
CA	CBUQ	8	2272,50	3232,00	2752,25
Base	Cascalho laterítico	15	291,38	289,49	290,44
Subleito			139,37	183,62	161,50

Unidade de Amostragem UA07 (km574+600, UF: MG)



Tabela 72 - Arranjo das Linhas de Influência Deflectométricas (7 unidades) da UA-07.

UA-07 - km574 + 600 (MG) - P3 Crescente											
Bacia de Deflexão	km	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)							Temperatura (ºC)	
			0	20	30	45	60	90	120	Ar	Pav
B1	574,300	4100,00	38,44	32,47	28,25	21,74	17,05	9,72	6,05	28,50	30,30
B2	574,400	4100,00	30,85	21,96	17,07	11,48	7,61	3,29	1,79	28,50	31,30
B3	574,500	4100,00	20,61	14,08	11,82	8,53	6,40	3,35	2,03	28,20	32,00
B4	574,600	4100,00	30,33	22,91	19,21	14,32	10,65	5,86	3,53	28,50	31,40
B5	574,700	4100,00	31,05	23,31	19,52	14,60	10,80	5,74	3,48	28,30	31,60
B6	574,800	4100,00	38,59	29,47	24,64	18,64	13,70	7,20	4,39	27,80	31,90
B7	574,900	4100,00	20,38	15,67	13,51	10,25	7,59	4,19	2,68	28,00	32,10

Tabela 73 - Tratamento estatístico das deflexões da linha de influência deflectométrica: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Segmento Unidade de Amostragem				Deflexão		Desvio Padrão (DP)	Limite Admissível		Condição	Coeficiente de Variação	Deflexão Característica
UA	Início (km)	Final (km)	Ext (km)				(+)	(-)			
7	574,3	574,9	0,600	$D_{0\ Médio}$	30,0	6,84	47,14	12,94	OK	0,23	36,88
				$D_{20\ Médio}$	22,8	6,16	38,25	7,43	OK	0,27	29,00
				$D_{30\ Médio}$	19,1	5,39	32,61	5,68	OK	0,28	24,53
				$D_{45\ Médio}$	14,2	4,34	25,07	3,37	OK	0,31	18,56
				$D_{60\ Médio}$	10,5	3,52	19,35	1,73	OK	0,33	14,06
				$D_{90\ Médio}$	5,6	2,14	10,97	0,28	OK	0,38	7,76
				$D_{120\ Médio}$	3,4	1,36	6,82	0,02	OK	0,40	4,78

Tabela 74 - Definição das linhas de influência deflectométricas médias representativas, incluindo as linhas de influência dos limites inferior e superior determinadas pelo desvio padrão.

UA-07 - km574 + 600 (MG) - P3 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
574,30	574,90	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				30,0	22,8	19,1	14,2	10,5	5,6	3,4
Média + Desvio Padrão				36,9	29,0	24,5	18,6	14,1	7,8	4,8
Média - Desvio Padrão				23,2	16,7	13,8	9,9	7,0	3,5	2,1

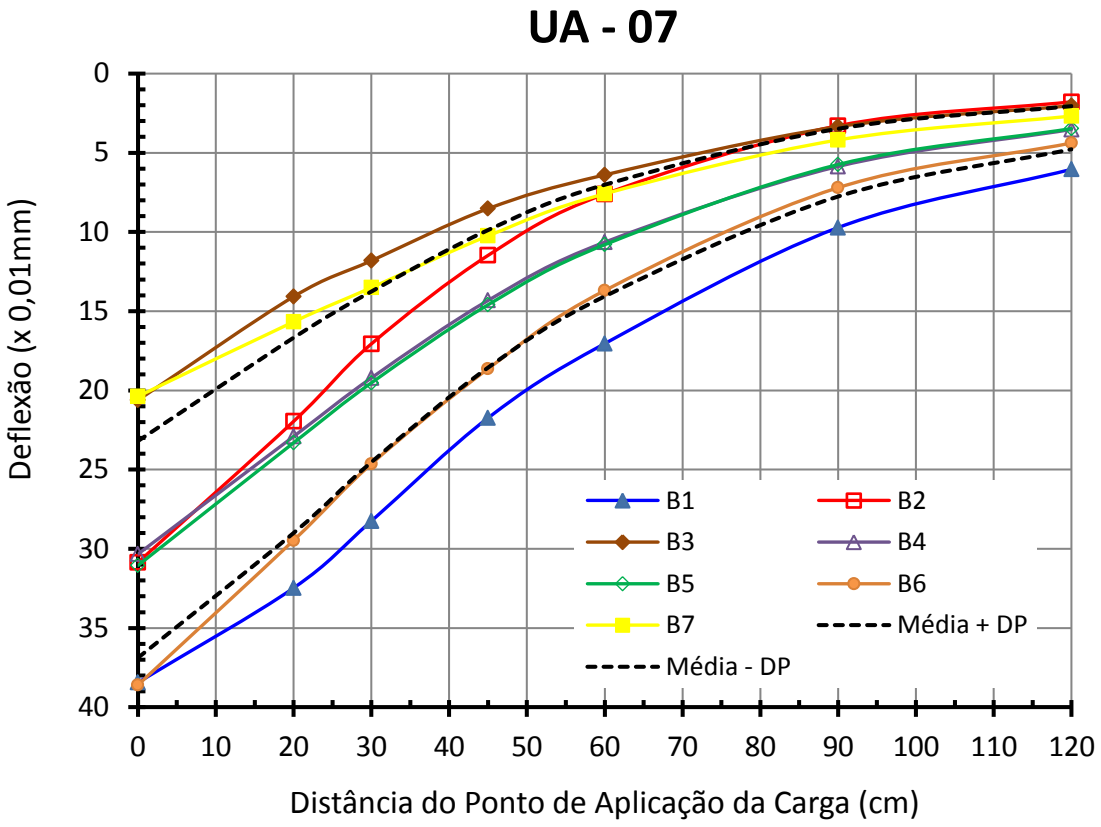


Figura 128 - Plotagem das 7 linhas de influência deflectométricas medidas na UA e linhas de influência dos limites inferior e superior (médias com desvios padrão).

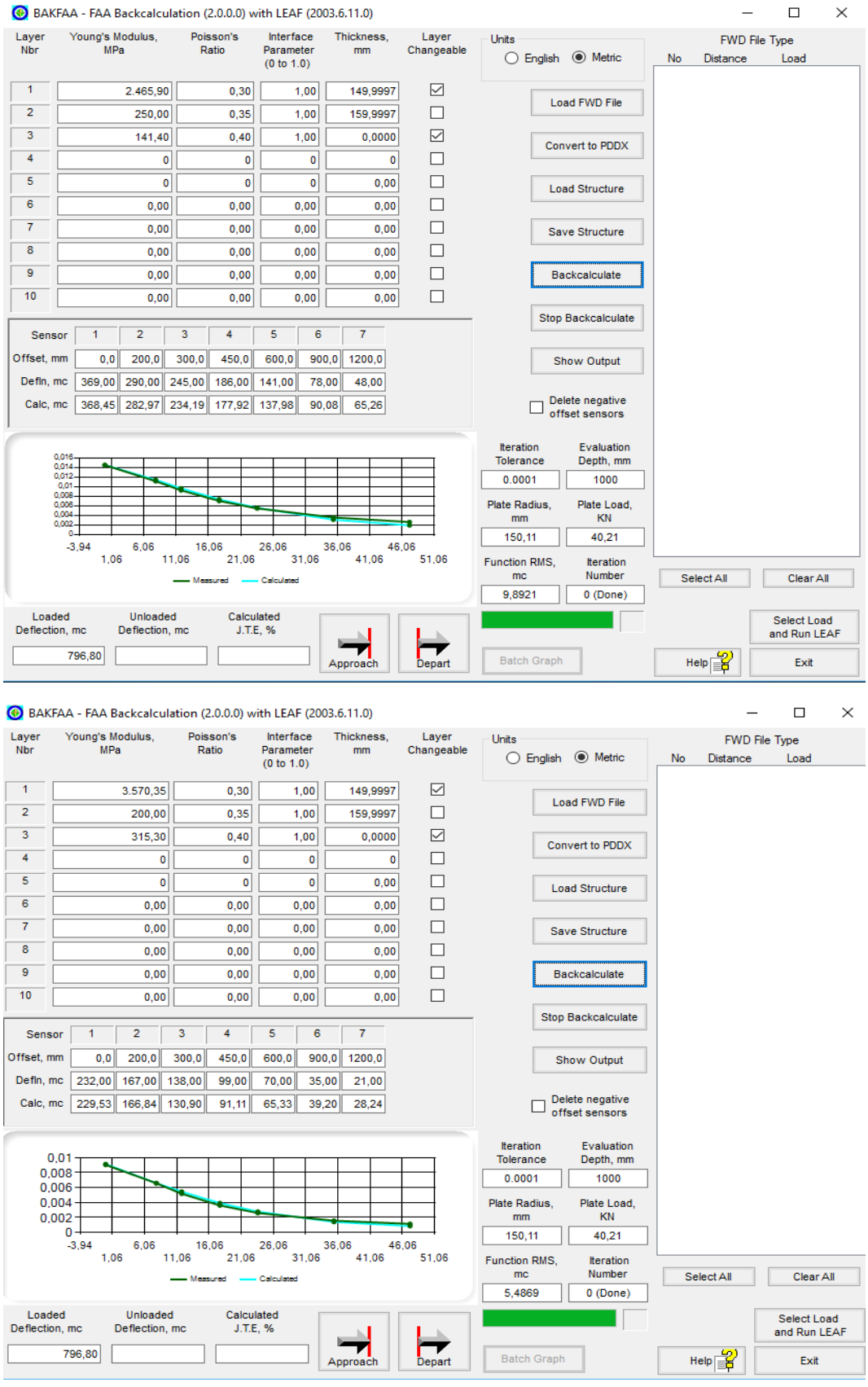


Figura 129 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: dados de entrada e módulos de resiliência calculados por retroanálises das bacias de deflexão média mais e menos desvio.

Tabela 75 - Valores de deflexão medidos e calculados pela retroanálise.

UA-07 - km574 + 600 (MG) - P3 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
574,30	574,90	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				30,0	22,8	19,1	14,2	10,5	5,6	3,4
Média (Calculado)				29,9	22,5	18,3	13,5	10,2	6,5	4,7
Média + Desvio Padrão				36,9	29,0	24,5	18,6	14,1	7,8	4,8
Média + Desvio Padrão (Calculado)				36,8	28,3	23,4	17,8	13,8	9,0	6,5
Média - Desvio Padrão				23,2	16,7	13,8	9,9	7,0	3,5	2,1
Média - Desvio Padrão (Calculado)				23,0	16,7	13,1	9,1	6,5	3,9	2,8

Tabela 76 - Valores dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento da UA-07 definidos por retroanálise.

Camada	Descrição da Camada	Espessura (cm)	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa) - UA07		
			Média + DP	Média - DP	Valor Médio
CA	CBUQ	15	2465,90	3570,35	3018,13
Base	Canga de Minério	16	250,00	200,00	225,00
Subleito			141,40	315,30	228,35

Na presente UA, o estudo de retroanálise forneceu valor de módulo de resiliência MR igual àquele obtido em laboratório. Entretanto, ressalta-se que foi ensaiada apenas a camada de base do pavimento. Com o conhecimento do valor de MR de uma camada da estrutura do pavimento composta por três camadas é mais fácil de aproximar a linha de influência deflectométrica do estudo de retroanálise daquela medida em campo. Isso não quer dizer que os MRs das demais camadas, revestimento e subleito, representam de fato os resultados que poderiam ser obtidos em laboratório. Mas pelo fato de se conhecer o MR de pelo menos uma das camadas, os MRs das demais camadas tendem a se aproximar muito dos valores que seriam obtidos em laboratório.

Unidade de Amostragem UA08 (km 644+770, UF: MG)



Tabela 77 - Arranjo das Linhas de Influência Deflectométricas (7 unidades) da UA-08.

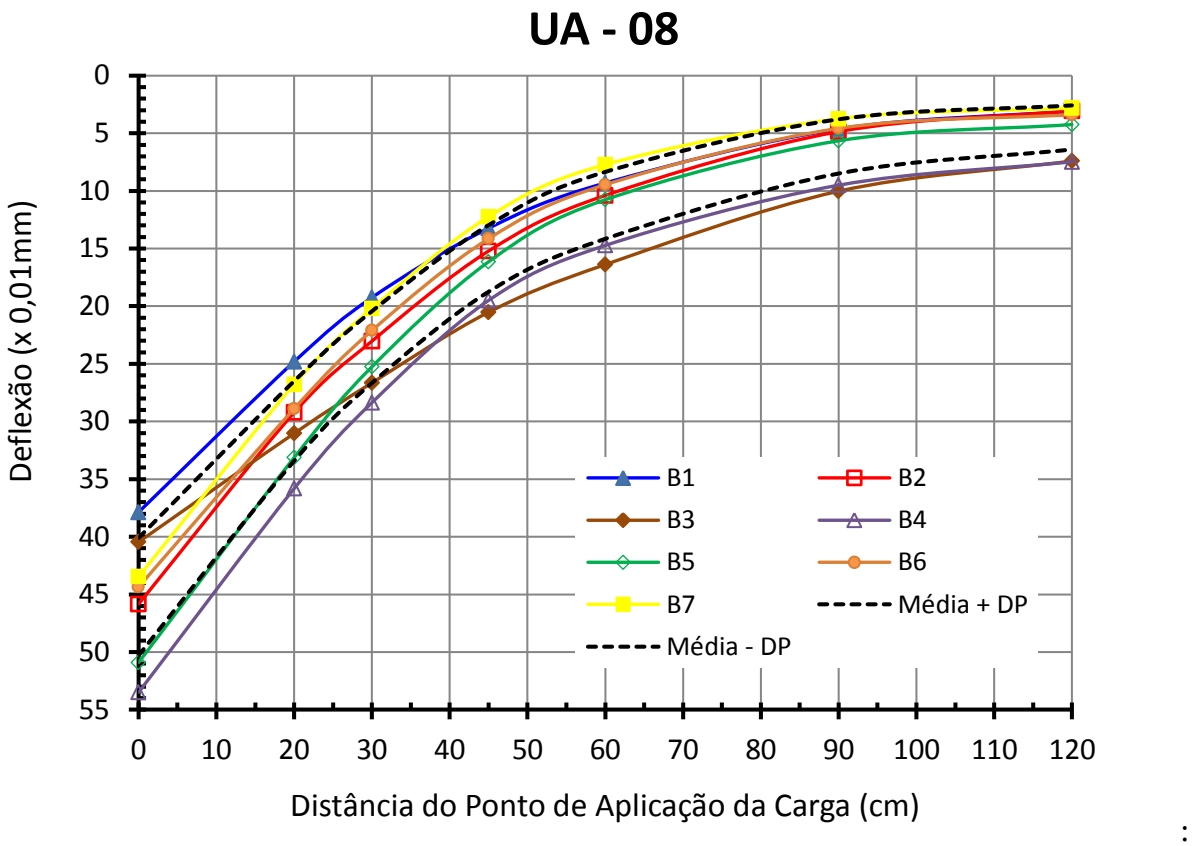
UA-08 - km644 + 770 (MG) - P3 Crescente											
Bacia de Deflexão	km	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)							Temperatura (ºC)	
			0	20	30	45	60	90	120	Ar	Pav
B1	644,500	4100,00	37,87	24,81	19,25	13,24	9,32	4,63	3,08	33,00	37,30
B2	644,600	4100,00	45,84	29,23	23,03	15,21	10,39	4,86	3,05	33,40	36,10
B3	644,700	4100,00	40,46	31,03	26,65	20,53	16,39	10,03	7,41	33,20	38,70
B4	644,800	4100,00	53,50	35,82	28,37	19,50	14,73	9,51	7,48	33,40	39,00
B5	644,900	4100,00	50,91	33,13	25,26	16,15	10,77	5,65	4,24	33,90	37,90
B6	645,000	4100,00	44,35	28,89	22,11	14,15	9,46	4,58	3,39	33,90	37,10
B7	645,100	4100,00	43,47	26,79	20,20	12,24	7,72	3,75	2,81	33,80	34,50

Tabela 78 - Tratamento estatístico das deflexões da linha de influência deflectométrica: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Segmento Unidade de Amostragem				Deflexão		Desvio Padrão (DP)	Limite Admissível		Condição	Coeficiente de Variação	Deflexão Característica
UA	Início (km)	Final (km)	Ext (km)				(+)	(-)			
8	644,5	645,1	0,600	$D_{0\ Médio}$	45,2	5,10	57,94	32,46	OK	0,11	50,30
				$D_{20\ Médio}$	30,0	3,46	38,61	21,31	OK	0,12	33,42
				$D_{30\ Médio}$	23,6	3,11	31,33	15,77	OK	0,13	26,67
				$D_{45\ Médio}$	15,9	2,89	23,08	8,64	OK	0,18	18,75
				$D_{60\ Médio}$	11,3	2,90	18,51	4,00	OK	0,26	14,15
				$D_{90\ Médio}$	6,1	2,35	12,02	0,26	OK	0,38	8,49
				$D_{120\ Médio}$	4,5	1,91	9,27	-0,29	OK	0,43	6,41

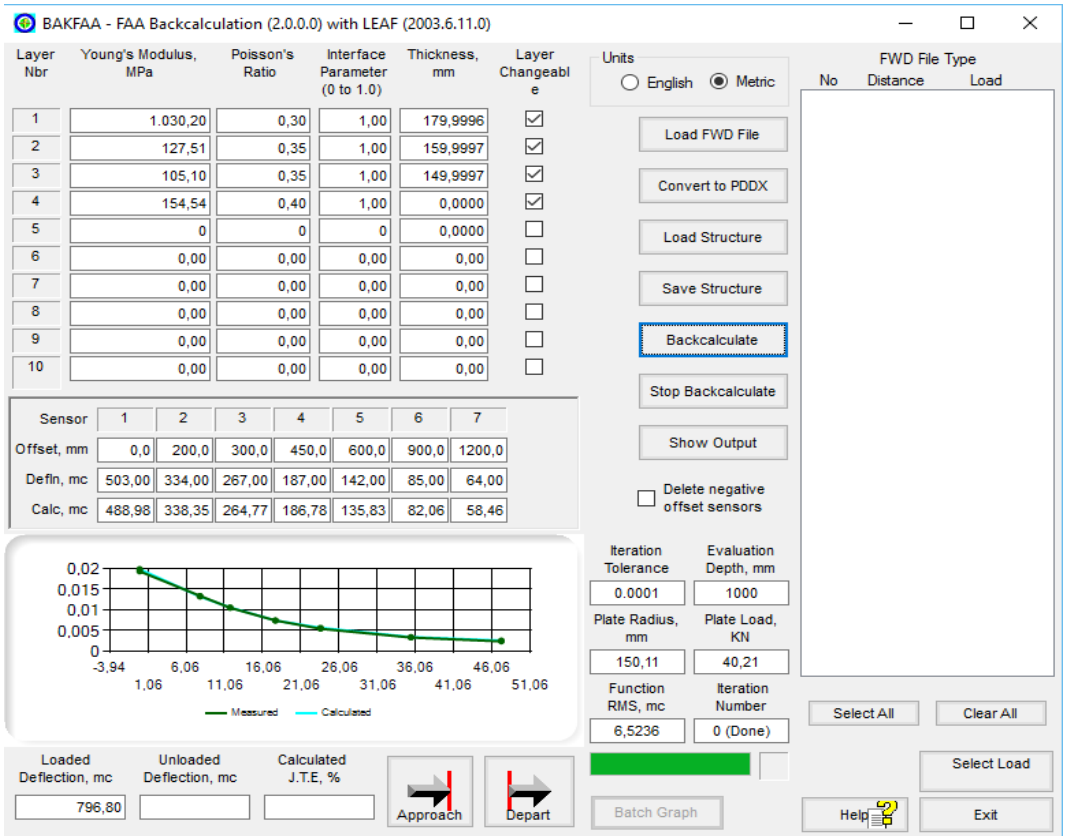
Tabela 79 - Definição das linhas de influência deflectométricas médias representativas, incluindo as linhas de influência dos limites inferior e superior determinadas pelo desvio padrão.

UA-08 - km644 + 770 (MG) - P3 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
644,50	645,10	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				45,2	30,0	23,6	15,9	11,3	6,1	4,5
Média + Desvio Padrão				50,3	33,4	26,7	18,7	14,2	8,5	6,4
Média - Desvio Padrão				40,1	26,5	20,4	13,0	8,4	3,8	2,6



:

Figura 130 - Plotagem das 7 linhas de influência deflectométricas medidas na UA e linhas de influência dos limites inferior e superior (médias com desvios padrão).



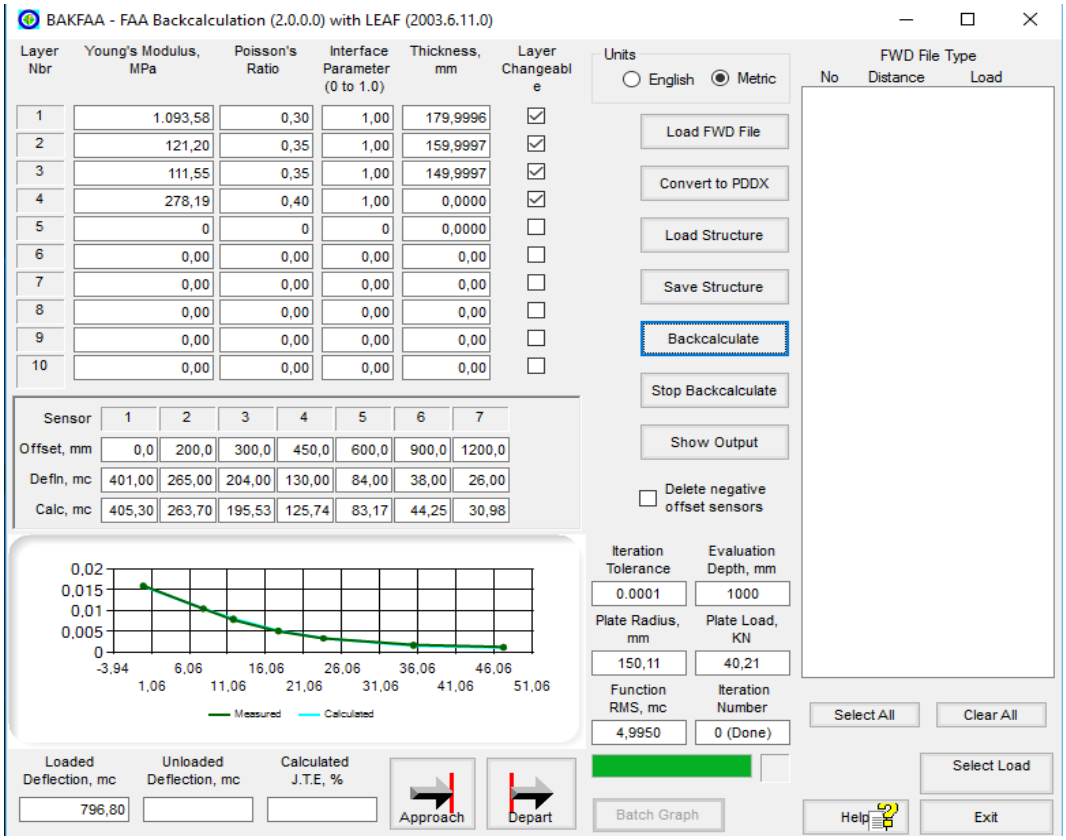


Figura 131 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: dados de entrada e módulos de resiliência calculados por retroanálises das bacias de deflexão média mais e menos desvio.

Tabela 80 - Valores de deflexão medidos e calculados pela retroanálise.

UA-08 - km644 + 770 (MG) - P3 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
644,50	645,10	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				45,2	30,0	23,6	15,9	11,3	6,1	4,5
Média (Calculado)				44,7	30,1	23,0	15,6	11,0	6,3	4,5
Média + Desvio Padrão				50,3	33,4	26,7	18,7	14,2	8,5	6,4
Média + Desvio Padrão (Calculado)				48,9	33,8	26,5	18,7	13,6	8,2	5,9
Média - Desvio Padrão				40,1	26,5	20,4	13,0	8,4	3,8	2,6
Média - Desvio Padrão (Calculado)				40,5	26,4	19,6	12,6	8,3	4,4	3,1

Tabela 81 - Valores dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento da UA-08 definidos por retroanálise.

Camada	Descrição da Camada	Espessura (cm)	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa) - UA08		
			Média + DP	Média - DP	Valor Médio
CA	CBUQ	18	1030,20	1093,58	1061,89
Base	Brita Graduada	16	127,51	121,20	124,36
Sub-base	Cascalho Arenoso	15	105,10	111,55	108,33
Subleito			154,54	278,19	216,37

Unidade de Amostragem UA09 (km 708+650, UF: MG)



Tabela 82 - Arranjo das Linhas de Influência Deflectométricas (7 unidades) da UA-09.

UA-09 - km708 + 650 (MG) - P3 Crescente											
Bacia de Deflexão	km	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)							Temperatura (ºC)	
			0	20	30	45	60	90	120	Ar	Pav
B1	708,300	4100,00	27,77	14,04	11,68	9,07	7,32	5,10	4,12	34,40	40,40
B2	708,400	4100,00	27,62	13,91	12,05	8,38	6,84	5,02	4,27	34,40	40,60
B3	708,500	4100,00	22,51	12,55	10,76	7,64	6,00	4,16	3,42	34,40	40,30
B4	708,600	4100,00	18,42	11,35	9,32	6,88	5,27	4,19	3,57	34,30	40,70
B5	708,700	4100,00	22,85	12,70	11,07	7,81	6,33	4,91	4,20	34,30	40,50
B6	708,800	4100,00	32,81	20,18	17,49	12,74	9,88	6,61	5,16	34,50	41,30
B7	708,900	4100,00	28,04	14,66	12,25	8,56	6,77	4,93	4,16	34,60	41,40

Tabela 83 - Tratamento estatístico das deflexões da linha de influência deflectométrica: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Segmento Unidade de Amostragem				Deflexão		Desvio Padrão (DP)	Limite Admissível		Condição	Coeficiente de Variação	Deflexão Característica
UA	Início (km)	Final (km)	Ext (km)				(+)	(-)			
9	708,3	708,9	0,600	$D_{0\ Médio}$	25,7	4,40	36,71	14,73	OK	0,17	30,11
				$D_{20\ Médio}$	14,2	2,65	20,82	7,57	OK	0,19	16,85
				$D_{30\ Médio}$	12,1	2,39	18,06	6,12	OK	0,20	14,48
				$D_{45\ Médio}$	8,7	1,76	13,14	4,31	OK	0,20	10,49
				$D_{60\ Médio}$	6,9	1,36	10,30	3,53	OK	0,20	8,27
				$D_{90\ Médio}$	5,0	0,75	6,88	3,10	OK	0,15	5,74
				$D_{120\ Médio}$	4,1	0,52	5,43	2,82	OK	0,13	4,65

Tabela 84 - Definição das linhas de influência deflectométricas médias representativas, incluindo as linhas de influência dos limites inferior e superior determinadas pelo desvio padrão.

UA-09 - km708 + 650 (MG) - P3 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
708,30	708,90	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				25,7	14,2	12,1	8,7	6,9	5,0	4,1
Média + Desvio Padrão				30,1	16,8	14,5	10,5	8,3	5,7	4,6
Média - Desvio Padrão				21,3	11,5	9,7	7,0	5,6	4,2	3,6

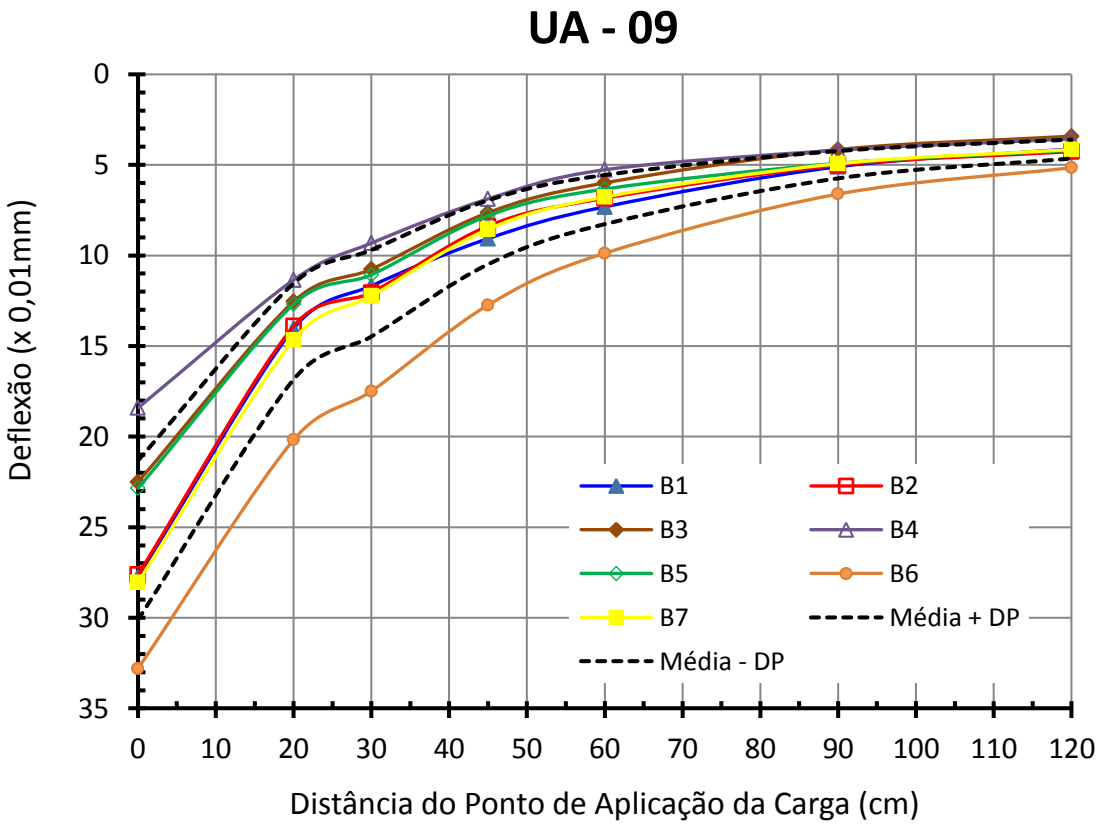


Figura 132 - Plotagem das 7 linhas de influência deflectométricas medidas na UA e linhas de influência dos limites inferior e superior (médias com desvios padrão).

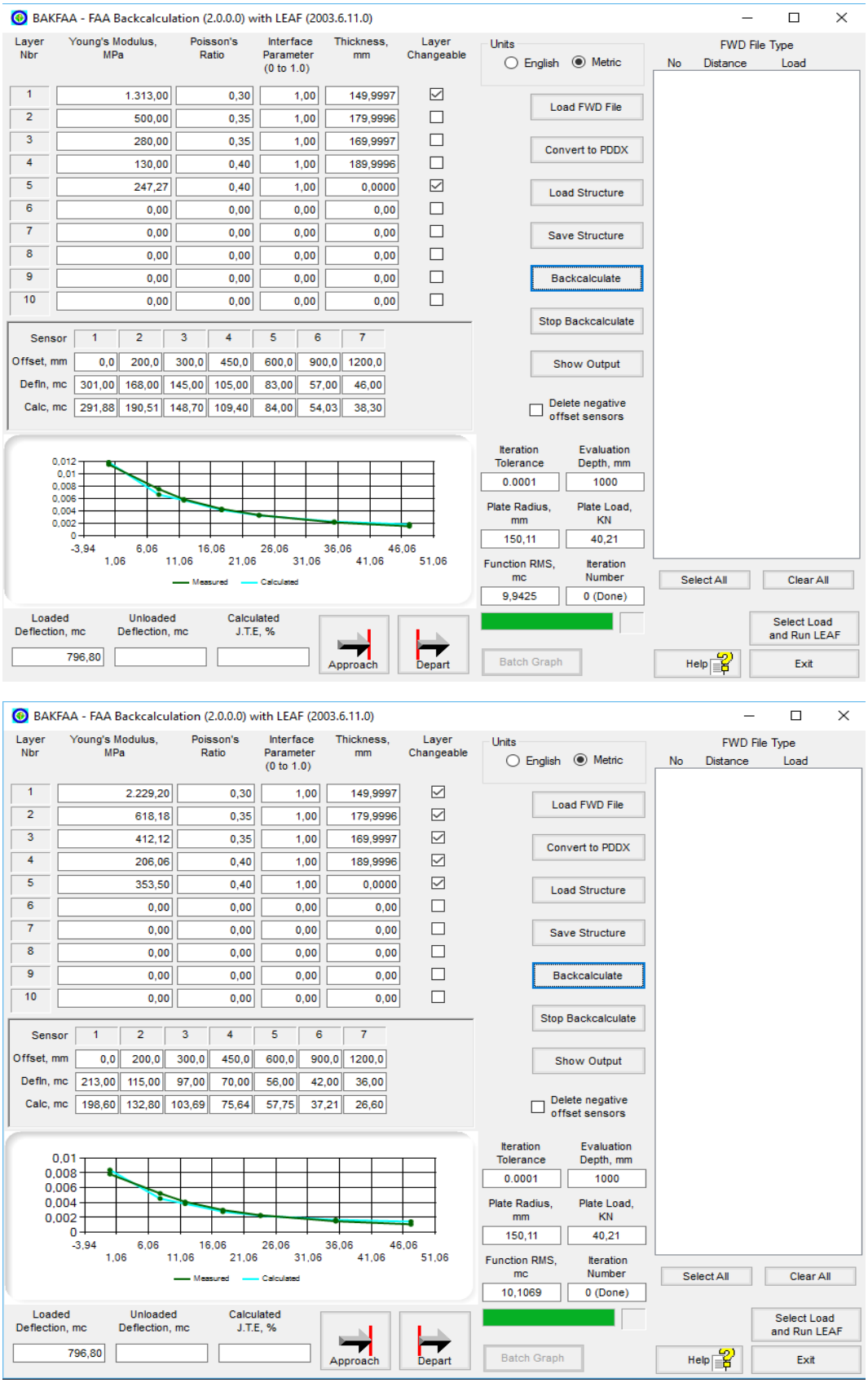


Figura 133 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: dados de entrada e módulos de resiliência calculados por retroanálises das bacias de deflexão média mais e menos desvio.

Tabela 85 - Valores de deflexão medidos e calculados pela retroanálise.

UA-09 - km708 + 650 (MG) - P3 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
708,30	708,90	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				25,7	14,2	12,1	8,7	6,9	5,0	4,1
Média (Calculado)				24,5	16,2	12,6	9,3	7,1	4,6	3,2
Média + Desvio Padrão				30,1	16,8	14,5	10,5	8,3	5,7	4,6
Média + Desvio Padrão (Calculado)				29,2	19,1	14,9	10,9	8,4	5,4	3,8
Média - Desvio Padrão				21,3	11,5	9,7	7,0	5,6	4,2	3,6
Média - Desvio Padrão (Calculado)				19,9	13,3	10,4	7,6	5,8	3,7	2,7

Tabela 86 - Valores dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento da UA-09 definidos por retroanálise.

Camada	Descrição da Camada	Espessura (cm)	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa) - UA09		
			Média + DP	Média - DP	Valor Médio
CA	CBUQ	15	1313,00	2229,20	1771,10
Base	Brita Graduada	18	500,00	618,18	559,09
Sub-base	Cascalho Argiloso	17	280,00	412,12	346,06
Subleito	Arg. Silt. Aren. Vermelha	19	130,00	206,06	168,03
Subleito			247,27	353,50	300,39

Na presente UA, no estudo de retroanálise não foram obtidos os mesmos valores de módulo de resiliência MR obtidos em laboratório.

Na Figura 134 apresenta-se o estudo de retroanálise no qual se adotaram os valores médios de MR resultantes dos ensaios de laboratório. Foram ensaiadas as camadas de base, sub-base e subleito. Observa-se que as bacias de deflexão, medida em campo e obtida com base nos valores dos ensaios, se diferem em formato nos pontos de deflexão D0 D1, D2 e D3 da linha de influência deflectométrica. Essa diferença pode ocorrer devida: (i) a presença de trincas longitudinais e transversais próximas ao ponto de deflexão máxima, o que gera descontinuidade no bulbo de tensões, reduzindo a transmissão de carga durante o ensaio do FWD; (ii) diferença de temperatura da mistura asfáltica durante o ensaio de deflexão por FWD em campo e de MR em laboratório; e (ii) amostra retirada para ensaio em laboratório em ponto diferente do ensaio de deflexão. Esses aspectos são discutidos em Costa (2015).

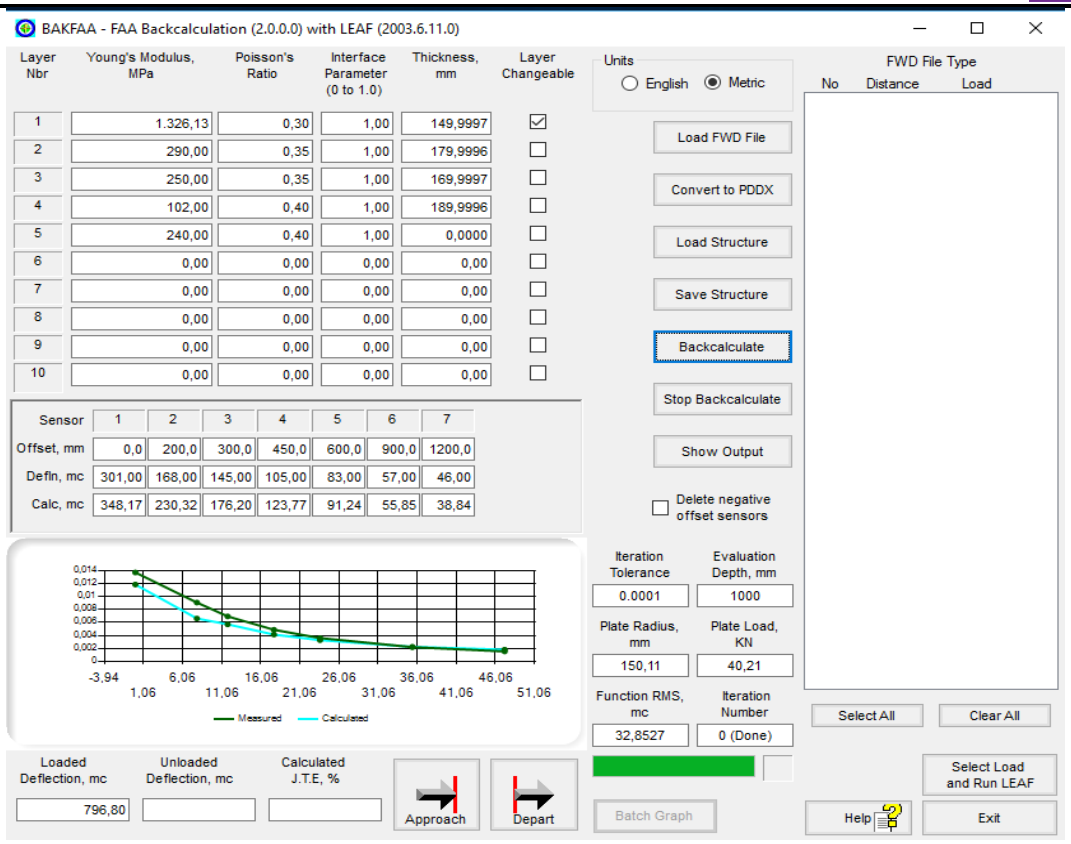


Figura 134 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: utilizando os MRs definidos por ensaio de laboratório (bacias de deflexão média mais e menos desvio).

Unidade de Amostragem UA10 (km 769+000, UF: MG)



Tabela 87 - Arranjo das Linhas de Influência Deflectométricas (7 unidades) da UA-10.

UA-10 - km769,00 (MG) - P3 Crescente											
Bacia de Deflexão	km	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)							Temperatura (ºC)	
			0	20	30	45	60	90	120	Ar	Pav
B1	768,700	4100,00	96,75	64,06	50,25	25,23	14,72	6,70	4,85	33,60	34,00
B2	768,800	4100,00	133,70	88,66	69,88	38,06	24,02	11,27	7,76	33,50	37,60
B3	768,900	4100,00	102,17	62,97	48,01	23,84	14,38	7,18	5,15	33,40	34,70
B4	769,000	4100,00	50,85	32,85	26,27	15,07	9,82	5,49	4,15	33,20	37,70
B5	769,100	4100,00	112,16	74,01	56,83	29,78	19,12	9,14	6,26	33,10	35,80
B6	769,200	4100,00	142,49	101,85	85,39	45,73	30,32	14,40	9,76	33,00	32,70
B7	769,300	4100,00	126,06	88,70	71,25	39,75	26,05	12,21	8,47	32,90	37,30

Tabela 88 - Tratamento estatístico das deflexões da linha de influência deflectométrica: (i) deflexão média; (ii) desvio padrão; (iii) limite admissível (superior e inferior); (iv) coeficiente de variação e (v) deflexão característica.

Segmento Unidade de Amostragem				Deflexão		Desvio Padrão (DP)	Limite Admissível		Condição	Coeficiente de Variação	Deflexão Característica
UA	Início (km)	Final (km)	Ext (km)				(+)	(-)			
10	768,7	769,3	0,600	$D_{0\ Médio}$	109,2	28,31	179,95	38,39	OK	0,26	137,48
				$D_{20\ Médio}$	73,3	21,10	126,05	20,55	OK	0,29	94,40
				$D_{30\ Médio}$	58,3	17,87	102,93	13,60	OK	0,31	76,14
				$D_{45\ Médio}$	31,1	9,88	55,76	6,37	OK	0,32	40,94
				$D_{60\ Médio}$	19,8	6,79	36,75	2,80	OK	0,34	26,56
				$D_{90\ Médio}$	9,5	3,02	17,04	1,92	OK	0,32	12,51
				$D_{120\ Médio}$	6,6	1,93	11,46	1,80	OK	0,29	8,56

Tabela 89 - Definição das linhas de influência deflectométricas médias representativas, incluindo as linhas de influência dos limites inferior e superior determinadas pelo desvio padrão.

UA-10 - km769,00 (MG) - P3 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
768,70	769,30	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				109,2	73,3	58,3	31,1	19,8	9,5	6,6
Média + Desvio Padrão				137,5	94,4	76,1	40,9	26,6	12,5	8,6
Média - Desvio Padrão				80,9	52,2	40,4	21,2	13,0	6,5	4,7

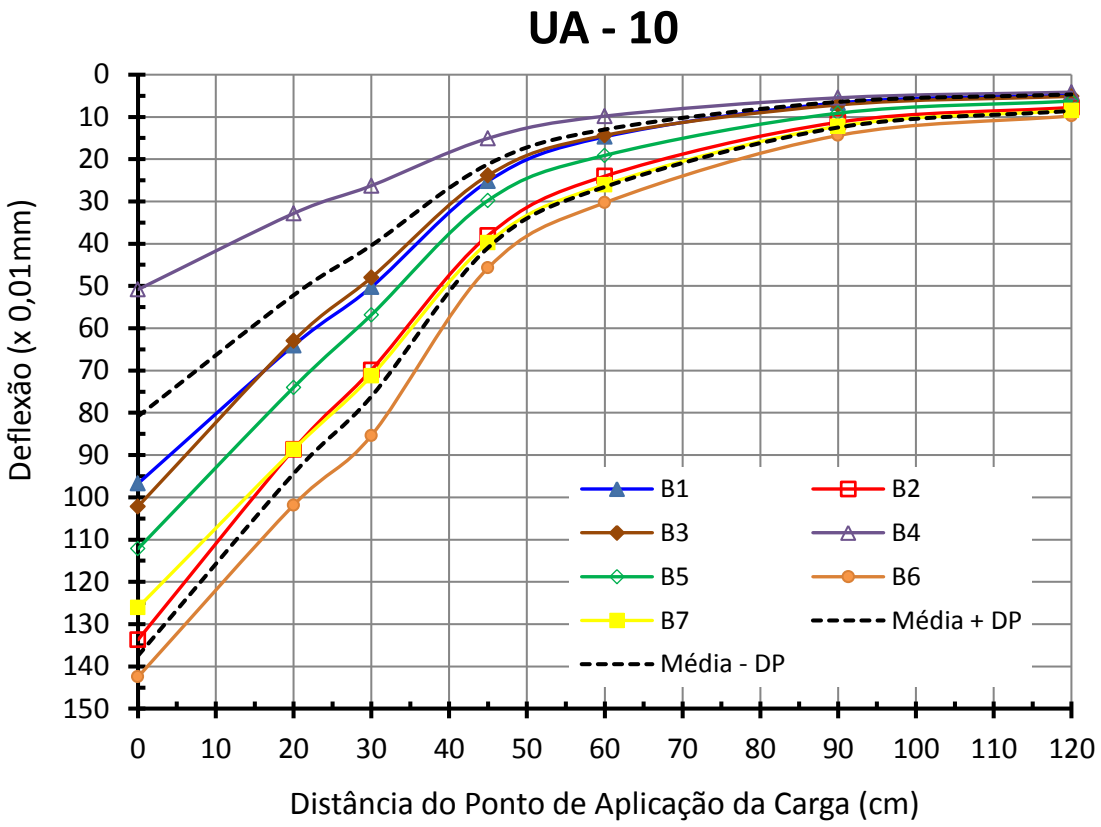


Figura 135 - Plotagem das 7 linhas de influência deflectométricas medidas na UA e linhas de influência dos limites inferior e superior (médias com desvios padrão).

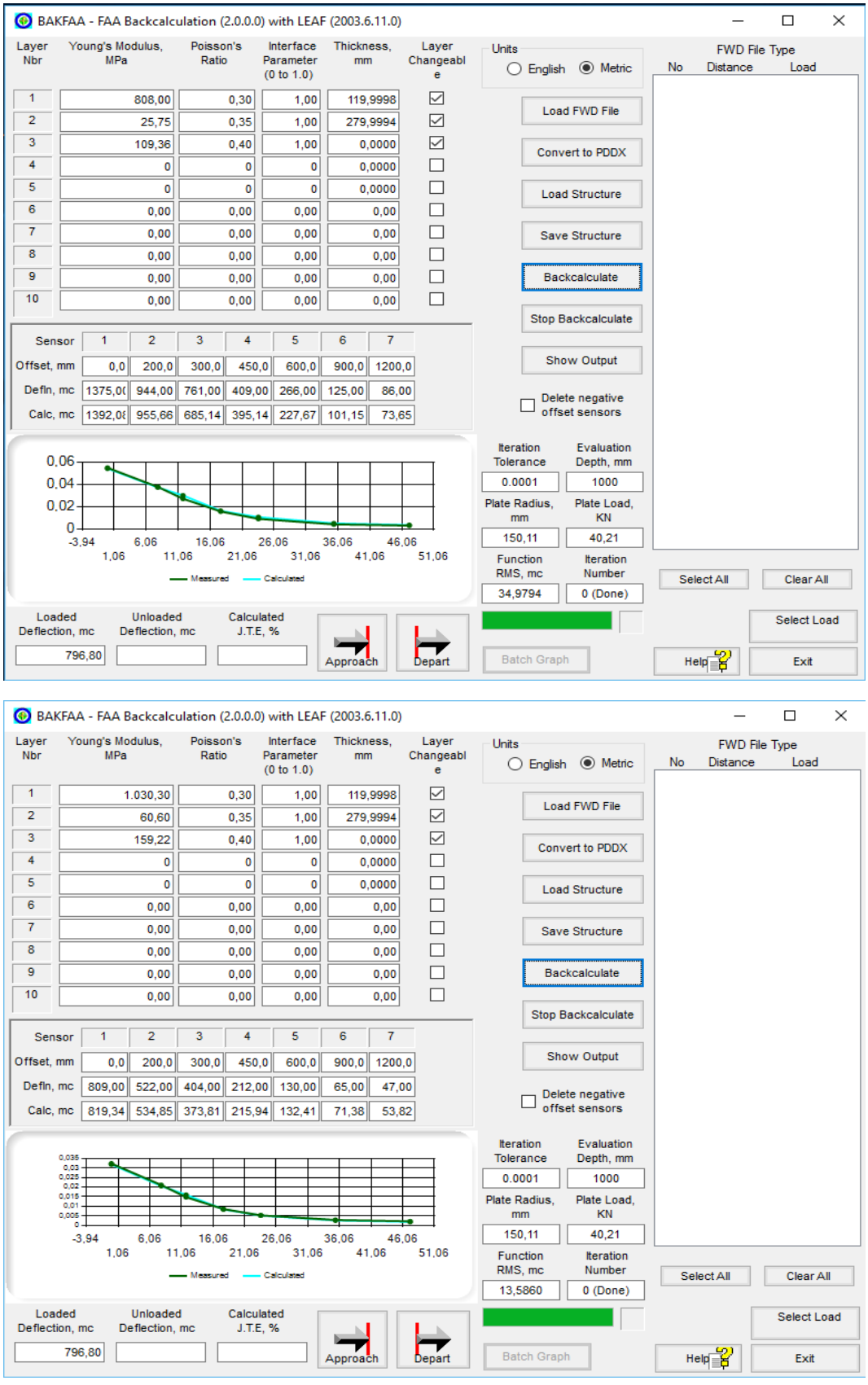


Figura 136 - Estudo de Retroanálise com uso do BAKFAA: dados de entrada e módulos de resiliência calculados por retroanálises das bacias de deflexão média mais e menos desvio.

Tabela 90 - Valores de deflexão medidos e calculados pela retroanálise.

UA-10 - km769,00 (MG) - P3 Crescente										
km inicial	km final	Extensão (km)	Força (kgf)	VALORES DE DEFLEXÃO (x0,01mm)						
768,70	769,30	0,600	4100	D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
Média				109,2	73,3	58,3	31,1	19,8	9,5	6,6
Média (Calculado)				110,6	74,5	52,9	30,6	18,0	8,6	6,4
Média + Desvio Padrão				137,5	94,4	76,1	40,9	26,6	12,5	8,6
Média + Desvio Padrão (Calculado)				139,2	95,6	68,5	39,5	22,8	10,1	7,4
Média - Desvio Padrão				80,9	52,2	40,4	21,2	13,0	6,5	4,7
Média - Desvio Padrão (Calculado)				81,9	53,5	37,4	21,6	13,2	7,1	5,4

Tabela 91 - Valores dos módulos de resiliência (MR) das camadas do pavimento da UA-10 definidos por retroanálise.

Camada	Descrição da Camada	Espessura (cm)	Valores de Módulo de Resiliência (Mpa) - UA10		
			Média + DP	Média - DP	Valor Médio
CA	CBUQ	12	808,00	1030,30	919,15
Base	Cascalho Arenoso	28	25,75	60,60	43,18
Subleito			109,36	159,22	134,29

VI.18.3 – INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DAS CAMADAS NA BACIA DEFLECTOMÉTRICA

O formato das bacias de deflexão é função tanto do carregamento aplicado na superfície como das características geométricas e elásticas das diversas camadas que compõem o pavimento. Como mostra a Figura 137, durante o carregamento, a região onde são impostos os esforços no interior das camadas vai se alargando em função da profundidade e propriedades da cada camada. Desta forma, a deflexão superficial que se apresenta no centro da aplicação da carga depende de todo arranjo estrutural do pavimento, já as deflexões situadas na zona mais afastada deste ponto são influenciadas apenas pelo MR do subleito. Por último, as deflexões referentes às distâncias intermediárias são função das camadas intermediárias: base, sub-base e, também, do subleito (Fabrício *et al.*, 1988 e Paolucci *et al.*, 1995 *apud* Nóbrega, 2003).

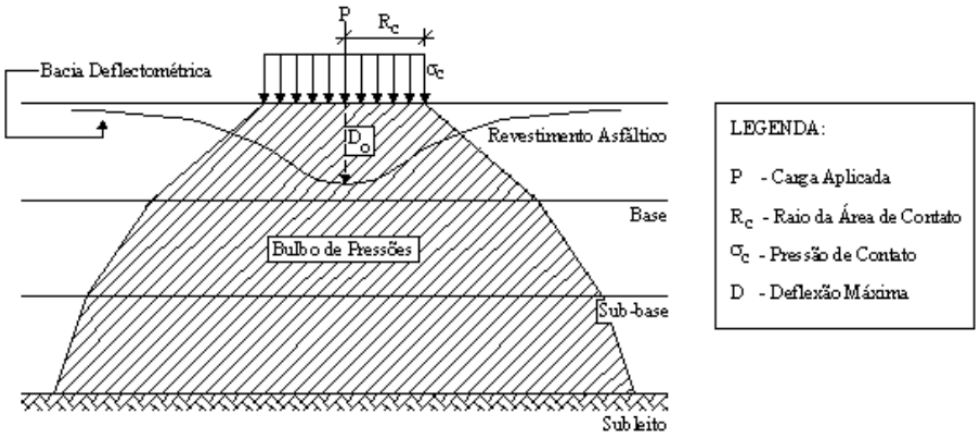


Figura 137 - Esquema da zona submetida a esforços (Fabrício *et al.*, 1988 *apud* Nóbrega, 2003).

A discussão apresentada por Nóbrega (2003) referente à influência das propriedades das camadas do pavimento na bacia deflectométrica se mostrou contundente nas retroanálises realizadas nas UAs. A deflexão D_0 é influenciada por todas as camadas do pavimento. Uma vez que as maiores tensões são absorvidas pelo revestimento asfáltico, esta camada contribui de maneira importante para a deflexão no ponto de aplicação da carga. O subleito, por sua vez, influencia toda a bacia deflectométrica. Nas regiões mais afastadas do ponto de aplicação da carga, as camadas mais superficiais contribuem pouco ou não contribuem nos valores das deflexões, conforme pode ser observado na Figura 137.

A Figura 138 mostra uma análise de sensibilidade do programa computacional BAKFAA realizada durante os estudos de retroanálise. Fixando-se os valores de MR das camadas inferiores, observa-se uma variação maior da deflexão D_0 quando se altera o MR do concreto asfáltico. Quando se altera o valor do MR do subleito, fixando-se os parâmetros das demais camadas, toda a bacia deflectométrica é alterada.

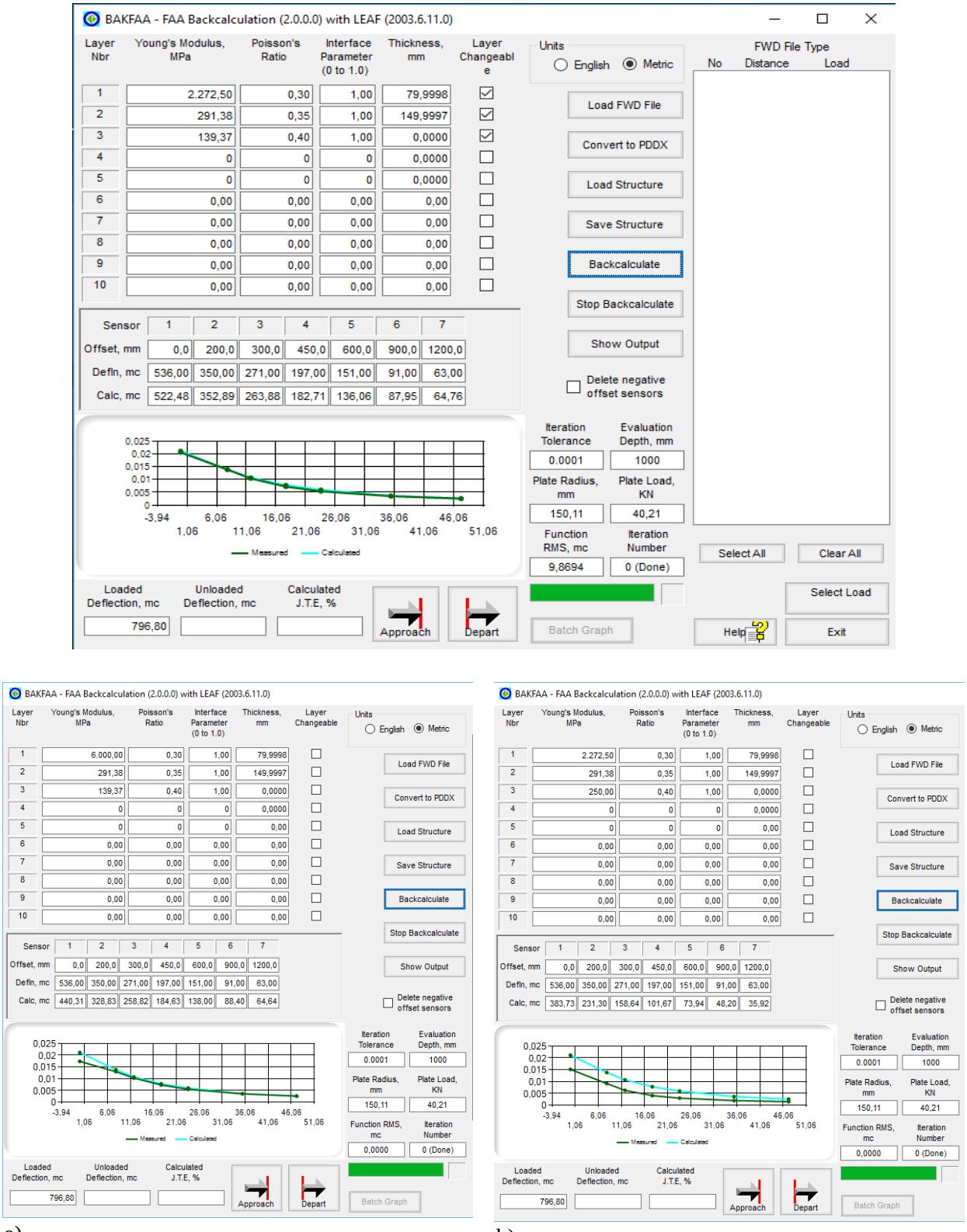


Figura 138 - Análise de sensibilidade no programa BAKFAA: a) influência do concreto asfáltico; b) influência do subleito.

VI.19 – ANÁLISES DE PREVISÃO DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS

Através do Sistema Gerenciador de Dados (SGD) foi gerado o arquivo contendo uma Matriz de Dados com estrutura e formato compatível com o padrão de importação do sistema HDM-4. Essa matriz contem os dados de entrada dos Segmentos Homogêneos (SHs) e das Unidades de Amostragem (UAs). Nas análises de previsão de cenários buscam-se as curvas de desempenho dos pavimentos baseadas nos modelos de deterioração do HDM-4 das UAs. Os cenários de desempenho dos pavimentos referem-se à evolução dos parâmetros das condições funcional e estrutural dos pavimentos ao longo do tempo de cada Unidade de Amostragem (UA), conforme as equações do modelo HDM-4. O HDM-4 foi alimentado com os dados existentes na Matriz de Dados (pavimento, tráfego, clima, condição de drenagem...). Os resultados das fornecem o cenário de desempenho dos pavimentos. O HDM-4 foi alimentado em duas etapas. Na fase preliminar faltavam alguns parâmetros e os dados de entrada não foram refinados. Na análise final, realizada no último trimestre do projeto de RDT (fev/mar/abr-2016), o HDM-4 foi realimentado com dados mais refinados para melhor ajuste das curvas de desempenho da UAs.

V.19.1 – ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA HDM-4

A elaboração de análises de cenários de previsão de desempenho dos pavimentos no HDM-4 depende da alimentação do sistema, através da montagem da: (i) Malha Rodoviária; (ii) Frota de Veículos; e (iii) Política de Manutenção. Também é necessária ajustes na configuração *default* do sistema HDM-4, principalmente, aquela que se refere ao clima.

Com base em estudos de sensibilidade do HDM-4 foram definidos os parâmetros de maior impacto sobre as previsões de desempenho dos pavimentos. Variaram-se parâmetros, um por vez, para avaliar os resultados de previsibilidade de desempenhos dos pavimentos. Um melhor refinamento dos dados de entrada também foi avaliado. Nas análises preliminares de previsão de desempenho dos pavimentos foram adotados os valores médios dos parâmetros das condições funcional e estrutural do segmento homogêneo no qual a UA encontra-se inserida. Avaliando especificamente a UA, cuja extensão é de 400 m, os valores médios são, por vezes, diferentes daqueles do segmento homogêneo. Em termo de resistência estrutural não houve mudança significativa, sendo mantida a média das deflexões do segmento homogêneo. O mesmo é válido para a irregularidade longitudinal. Visto o impacto da condição superficial dos pavimentos sobre a previsibilidade de desempenho, o refinamento dos valores é importante para obter resultados mais representativos, em conformidade com as condições dos 400m de cada UA. Buscando avaliar a evolução das condições funcionais dos pavimentos, em particular o trincamento, no período chuvoso (janeiro de 2016) foram feitas campanhas de levantamento de campo para monitorar especificamente a extensão de cada Unidade de Amostragem (UA). Foi realizado o Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) pelo Método da Varredura pela empresa Enggeotech em cada UA. O afundamento em trilha de roda (ATR) foi medido pela equipe da

Via-040 por meio de treliça metálica. Nessas UAs também foram feitos os ensaios para medição da macro e micro texturas dos pavimentos da UAs, através dos ensaios de mancha de areia e pêndulo britânico, respectivamente. Em relação à estrutura do pavimento adotaram-se as espessuras encontradas nos poços de inspeção realizados nos pavimentos das UAs para retiradas de amostras. As espessuras se apresentaram diferentes daquelas medidas pelo GPR, sendo inferiores àquelas utilizadas nas análises preliminares. Esses valores, em conjunto com os ajustes nas configurações do sistema, constituem a revisão da base (ou banco de dados) de realimentação do modelo HDM-4.

VI.19.2 - CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES DE AMOSTRAGEM (UAs)

Para definição das Unidades de Amostragem (UAs) foram estabelecidas classes para os parâmetros que refletem os mecanismos de deterioração dos pavimentos – Deflexão, Trincamento, Afundamento de Trilha de Roda, Irregularidade Longitudinal e espessura da camada de revestimento. As classes foram definidas em conformidade com o recomendado pelos manuais do HDM-4 e do DNIT (IPR-745, 2011). No HDM-4 a suficiência estrutural é definida pelo Número Estrutural SNC. Para comparar com as classes definidas no estudo de definição das UAs, o SNC foi transformado em valor de deflexão (0,01 mm). Na Tabela 92 apresenta-se um resumo com a localização das Unidades de Amostragem (UAs) e os valores médios dos parâmetros Deflexão, Trincamento, Espessura da Camada de Revestimento (concreto asfáltico), Afundamento de Trilha de Roda e Irregularidade Longitudinal.

Tabela 92 – Características das Unidades de Amostragem (UAs).

UA	km	UF	Do (0,01mm)	TR (%)	Esp. CA (cm)	ATR (mm)	IRI (m/km)	Compartimento Geomorfológico
UA01	97,625	GO	30,3	6,80	12,8	0,84	1,9	Planalto
UA02	52,065	MG	9,1	5,60	18,2	1,54	2,0	Patamares Rio São Francisco / Tocantins
UA03	153,25	MG	15,3	12,40	17,4	3,07	2,0	
UA04	260,47	MG	22,4	6,90	18,8	2,78	2,1	
UA05	352,55	MG	37,3	9,90	20,7	2,09	1,7	Depressões e Chapadas São Franscisco/BH
UA06	407,65	MG	38,0	16,50	16,2	2,28	3,3	
UA07	574,6	MG	32,6	31,70	13,1	0,61	1,5	Quadrilátero Ferrífero
UA08	644,77	MG	49,1	11,60	8,5	0,73	1,7	
UA09	708,65	MG	30,0	6,80	18,7	1,75	2,6	Campo das Vertentes
UA10	769	MG	103,7	17,60	11,7	0,88	2,5	

O valor correto da espessura do revestimento asfáltico depende de uma calibração do GPR, cuja quantidade de amostragem (poços de inspeção) pode não ter sido suficiente para utilizar como referência. O Afundamento em Trilha de Roda (ATR), que representa a fase plástica do pavimento, pode ter o valor falseado em função de um escorregamento de massa que refletiria um valor que não representa a deformação permanente das trilhas de roda dos pavimentos. A Irregularidade Longitudinal (IRI) é um parâmetro que reflete a condição funcional mais relacionada à qualidade ao rolamento, ou seja, ao conforto ao usuário e, por vezes, não tem relação muito direta com os mecanismos que conduzirão a falência do pavimento. Entretanto, como a irregularidade longitudinal (IRI) afeta o efeito dinâmico das cargas, o aumento do número de solicitações do eixo padrão reduz a qualidade ao rolamento no pavimento, podendo assim contribuir com a deterioração, também a nível estrutural do pavimento. A deflexão refere-se à resposta estrutural do pavimento frente à ação do tráfego e serve de referência para estimar os módulos de resiliência das camadas dos pavimentos, por meio de retroanálises. O trincamento, cuja área foi levantada de forma contínua, é um parâmetro que permite avaliar o grau de evolução do processo de deterioração do pavimento, refletindo, até certo nível, a fase elástica do pavimento. Pelas razões explicitadas, o critério de hierarquização para seleção das UAs, elaborado com base na Deflexão, Trincamento, GPR, ATR e IRI abrange parâmetros importantes que afetam a previsibilidade do HDM-4, impactando na comparação entre as resposta de campo e as curvas de previsão de desempenho.

Reavaliação dos Parâmetros das Unidades de Amostragem UAs

Os parâmetros das Unidades de Amostragem (UAs) foram recalculados para obter dados do comprimento específico da UA (400 m). Na análise preliminar de cenários de desempenho dos pavimentos das UAs utilizaram-se as médias dos parâmetros das condições funcional e estrutural do segmento homogêneo no qual a UA se encontrava inserida. Observou-se que em termos de irregularidade longitudinal (IRI) seria coerente adotar o valor de IRI obtido para o segmento homogêneo. Entretanto, o mesmo não foi observado para os demais parâmetros, com destaque para aqueles que alimentam o HDM-4 e, que de maneira geral, impactam sobre os cenários de desempenho dos pavimentos: trincamento, deflexão, afundamento em trilha de roda (ATR) e espessuras das camadas. Na Tabela 66 apresentam-se os valores dos parâmetros funcional e estrutural e das espessuras das camadas dos pavimentos de cada UA, considerando a média dos valores medidos no Segmento Homogêneo (SH) e dos valores medidos na extensão definida para a Unidade de Amostragem (UA – 400 m). Note que ocorrem diferenças significativas. Mas não há um padrão de diferença entre os valores obtidos pela média do SH ou da UA. Uma determinada UA apresenta diferença significativa na deflexão. Outra já tem maior diferença no trincamento. Essas diferenças de valores entre a UA e SH e falta de padrão são razoáveis visto que as extensões dos segmentos variam desde 2 km até 7,8 km. O refinamento dos parâmetros de entrada no HDM-4 resultou em cenários mais representativos das condições das UAs, de tal forma que, quando da monitoração da UA, a resposta do desempenho do pavimento poderá ser

mais adequada para se utilizar na calibração dos modelos de previsão de desempenho do sistema HDM-4. Os dados apresentados na Tabela 93 são descritos a seguir.

- Localização

km INICIAL e km FINAL

- Data

Ano de obtenção das informações

- "L" segmento (km)

Comprimento do Segmento Homogêneo (SH) no qual a Unidade de Amostragem (UA) se encontra inserida.

- Levantamento Visual Contínuo Informatizado pelo Método da Varredura (Condição Funcional)

TR 2 (%) e TR 2 (m^2): Trincas Classe 2 em percentagem e área

TR 3 (%) e TR 3 (m^2): Trincas Classe 3 em percentagem e área

TR (%) e TR (m^2): Trincamento em percentagem e área

PAN: Panela

DESG: Desgaste

QB: Quebra de Bordo (defeito previsto no HDM-4)

TB: Tapa Buraco (não previsto na Norma DNIT 005/2003 – TER)

- Afundamento de Trilha de Roda (ATR) ou Flecha

ATR INT.: Afundamento de Trilha de Roda Interna

ATR EXT.: Afundamento de Trilha de Roda Externa

ATR Méd: Afundamento de Trilha de Roda Média ((ATR INT + ATR EXT) / 2)

- Deflexão (Condição Estrutural)

Do: Deflexão Máxima (ponto de aplicação da carga - offset 0)

- Irregularidade Longitudinal IRI (Condição Funcional relacionada ao Conforto e Qualidade do Pavimento)

IRI esq: Irregularidade Longitudinal (IRI) na Trilha de Roda da Esquerda

IRI dir: Irregularidade Longitudinal (IRI) na Trilha de Roda da Direita

IRI méd: Irregularidade Longitudinal (IRI) Média ((IRI esq + IRI dir) / 2)

- Estrutura do Pavimento (Levantamento com uso do GPR)

CA: Espessura do Concreto Asfáltico

C2: Espessura da Camada Inferior ao Concreto Asfáltico

C3: Espessura da Camada subjacente à C2

Z Subleito: Profundidade do sub-leito

Tabela 93 – Comparação dos parâmetros funcional e estrutural obtidos pelas médias dos valores dos Segmentos Homogêneos (SHs) e das Unidades de Amostragem (UAs).

UA	km	km i	km f	UF	"L" SH (km)	PISTA	LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO INFORMATIZADO PELO MÉTODO DA VARREDURA (CONDIÇÃO FUNCIONAL)																	
							SH										UA									
							TR 2 (%)	TR 2 (m2)	TR 3 (%)	TR 3 (m2)	TR (%)	TR (m2)	PAN	DESG	QB	TB	TR 2 (%)	TR 2 (m2)	TR 3 (%)	TR 3 (m2)	TR (%)	TR (m2)	PAN	DESG	QB	TB
1	97625	93250	99799	GO	6,549	1	6,50%	4,58	0,00%	0,00	6,80%	4,73	0,00	0,00	0,00	0,01	11,70%	8,17	0,00%	0,00	11,70%	8,17	0,00	0,00	0,00	0,00
						2	35,90%	25,14	0,10%	0,053	36,00%	25,19	0,01	0,08	1,59	0,01	29,90%	20,92	0,00%	0,00	29,90%	20,92	0,00	0,00	0,00	0,00
2	52065	51600	54300	MG	2,700	1	5,60%	3,92	0,00%	0,00	5,60%	3,92	0,00	2,21	0,00	0,01	2,30%	1,59	0,00%	0,00	2,30%	1,59	0,00	2,35	0,00	0,00
						2	26,00%	18,21	3,70%	2,59	29,90%	20,95	0,00	0,49	0,00	0,01	37,30%	26,08	2,10%	1,50	39,40%	27,58	0,00	0,24	0,00	0,00
3	153250	148980	155250	MG	6,270	1	12,40%	8,70	0,00%	0,00	12,40%	8,70	0,00	2,24	0,00	0,00	5,80%	4,08	0,00%	0,00	5,80%	4,08	0,00	0,21	0,00	0,00
						2	5,90%	4,13	0,00%	0,00	5,90%	4,13	0,00	0,69	0,00	0,00	11,80%	8,25	0,00%	0,00	11,80%	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00
4	260470	257819	264122	MG	6,303	1	6,90%	4,86	0,00%	0,00	6,90%	4,86	0,00	0,75	0,00	0,00	7,00%	4,88	0,00%	0,00	7,00%	4,88	0,00	0,14	0,00	0,00
						2	8,10%	5,69	0,00%	0,00	8,10%	5,69	0,00	1,63	0,00	0,00	4,30%	3,00	0,00%	0,00	4,30%	3,00	0,00	1,24	0,00	0,00
5	352550	350820	355844	MG	5,024	1	9,90%	6,92	0,00%	0,00	9,90%	6,92	0,00	2,60	0,00	0,00	10,10%	7,06	0,00%	0,00	10,10%	7,06	0,00	2,00	0,00	0,00
						2	5,50%	3,88	0,00%	0,00	5,40%	3,77	0,00	2,64	0,00	0,00	9,50%	6,67	0,00%	0,00	9,50%	6,67	0,00	2,14	0,00	0,00
6	407650	407200	408700	MG	1,500	1	16,10%	11,31	0,00%	0,00	16,10%	11,31	0,00	1,70	0,00	0,00	21,30%	14,91	0,00%	0,00	21,30%	14,91	0,00	2,68	0,00	0,00
						2	14,30%	10,19	0,00%	0,00	14,60%	10,19	0,01	1,47	0,00	0,01	9,60%	6,75	0,00%	0,00	9,60%	6,75	0,05	3,19	0,00	0,00
7	574600	568450	576250	MG	7,800	3	24,50%	17,13	7,20%	5,07	31,70%	22,20	0,01	1,15	0,00	0,00	29,70%	19,86	3,40%	2,36	33,10%	22,22	0,00	0,00	0,00	0,00
						1	3,40%	2,38	0,00%	0,00	3,40%	2,38	0,00	1,31	0,00	0,00	1,50%	1,02	0,00%	0,00	1,50%	1,02	0,00	2,42	0,00	0,00
						2	3,10%	2,17	0,00%	0,00	3,10%	2,17	0,00	1,68	0,00	0,00	3,00%	2,04	0,00%	0,00	3,00%	2,04	0,00	1,17	0,00	0,00
						4	15,00%	10,52	0,60%	0,44	15,70%	10,97	0,00	2,73	0,00	0,00	2,00%	1,37	0,00%	0,00	2,00%	1,37	0,00	6,48	0,00	0,00
8	644770	644550	646550	MG	2,000	3	11,60%	8,15	0,00%	0,00	11,60%	8,15	0,00	1,50	0,00	0,00	5,00%	3,50	0,00%	0,00	5,00%	3,50	0,00	0,62	0,00	0,00
						1	4,60%	3,22	0,00%	0,00	4,60%	3,22	0,00	0,34	0,00	0,00	4,60%	3,20	0,00%	0,00	4,60%	3,20	0,00	0,65	0,00	0,00
						2	0,20%	0,17	0,00%	0,00	0,20%	0,17	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00
						4	3,70%	2,58	0,00%	0,00	3,70%	2,58	0,00	0,86	0,00	0,00	5,40%	3,75	0,00%	0,00	5,40%	3,75	0,00	0,57	0,00	0,00
9	708650	705889	709400	MG	3,511	3	6,80%	4,76	0,00%	0,00	6,80%	4,76	0,01	4,50	0,00	0,01	8,80%	6,17	0,00%	0,00	8,80%	6,17	0,00	4,91	0,00	0,00
						1	2,00%	1,41	0,00%	0,00	2,00%	1,41	0,02	1,64	0,00	0,00	1,60%	1,14	0,00%	0,00	1,60%	1,14	0,00	2,00	0,00	0,00
						2	0,30%	0,24	0,20%	0,14	0,50%	0,38	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00	3,65	0,00	0,00
						4	13,20%	9,26	6,60%	4,62	19,80%	13,88	0,00	0,16	0,00	0,01	13,70%	9,58	1,20%	0,83	14,90%	10,42	0,00	0,43	0,00	0,00
10	769000	766500	769700	MG	3,200	3	16,60%	11,59	1,00%	0,70	17,60%	12,28	0,00	0,72	0,00	0,00	21,60%	14,46	0,00%	0,00	21,60%	14,46	0,00	0,00	0,00	0,00
						1	2,00%	1,40	0,00%	0,00	2,00%	1,40	0,00	0,56	0,00	0,00	7,50%	5,03	0,00%	0,00	7,50%	5,03	0,00	0,00	0,00	0,00
						2	0,90%	0,63	0,00%	0,00	0,90%	0,63	0,00	0,46	0,00	0,00	0,40%	0,29	0,00%	0,00	0,40%	0,29	0,00	0,33	0,00	0,00
						4	6,20%	4,37	0,00%	0,00	6,20%	4,37	0,00	0,37	0,00	0,00	10,50%	7,37	0,00%	0,00	10,50%	7,37	0,00	0,85	0,00	0,00

UA	km	km i	km f	UF	"L" SH (km)	PISTA	ATR						DEFLEXÃO (CONDIÇÃO ESTRUTURAL)		IRI (CONFORTO)			ESTRUTURA DO PAVIMENTO (LEV. GPR)							
							SH			UA			SH	UA	SH			SH				UA			
							ATR INT.	ATR EXT.	ATR Méd	ATR INT.	ATR EXT.	ATR Méd	D0	D0	IRI esq	IRI dir	IRI méd	CA	C2	C3	Z Subleito	CA	C2	C3	Z Subleito
1	97625	93250	99799	GO	6,549	1	1,3	0,4	0,8	1,0	0,8	0,9	30,3	35,8	2,0	1,9	1,9	12,8	20,7	2,2	35,7	10,7	10,6	2,2	23,5
						2	1,5	0,3	0,9	1,2	0,3	0,8	35,6	35,7	2,2	2,1	2,2								
2	52065	51600	54300	MG	2,700	1	2,2	0,9	1,5	2,1	0,9	1,5	9,1	7,6	2,0	2,1	2,0	18,2	23,6	24,2	66,1	17,2	29,1	22,7	69,0
						2	1,2	0,5	0,9	0,8	0,8	0,8	12,1	10,2	1,9	2,1	2,0								
3	153250	148980	155250	MG	6,270	1	3,6	2,6	3,1	5,4	1,1	3,3	15,3	16,8	1,9	2,1	2,0	17,4	19,1	16,6	53,1	16,4	18,5	13,8	48,7
						2	3,6	1,0	2,3	6,5	0,0	3,3	17,4	26,6	1,9	1,9	1,9								
4	260470	257819	264122	MG	6,303	1	4,0	1,6	2,8	1,3	2,1	1,7	22,4	22,9	2,1	2,2	2,1	18,8	19,9	0,0	38,7	18,0	20,2	0,0	38,2
						2	2,2	0,7	1,5	3,7	0,1	1,9	23,6	26,1	2,1	2,5	2,3								
5	352550	350820	355844	MG	5,024	1	1,8	2,3	2,1	0,9	3,3	2,1	37,5	36,0	1,7	1,6	1,7	20,7	19,1	0,0	39,8	21,7	23,5	0,0	45,2
						2	2,6	2,6	2,6	1,8	2,5	2,2	38,3	37,5	1,8	1,9	1,8								
6	407650	407200	408700	MG	1,500	1	2,2	1,8	2,0	2,4	1,2	1,8	46,1	47,9	2,1	2,5	2,3	14,4	18,3	0,0	32,7	13,8	18,9	0,0	32,7
						2	1,6	2,8	2,2	2,0	2,8	2,4	49,8	51,8	2,2	2,0	2,1								
7	574600	568450	576250	MG	7,800	3	0,4	0,8	0,6	0,3	1,0	0,7	32,6	30,0	1,6	1,5	1,5	13,1	8,6	0,0	21,6	11,1	8,3	0,0	19,4
						1	0,4	1,0	0,7	0,2	1,0	0,6	20,7	17,7	1,5	1,7	1,6	15,6	26,8	0,0	42,4	12,5	18,1	0,0	30,6
						2	1,2	0,5	0,8	1,6	0,5	1,0	18,1	15,0	1,5	2,0	1,8	15,7	7,5	0,0	23,2	14,2	7,2	0,0	21,4
						4	1,4	0,8	1,1	0,7	1,6	1,1	34,5	28,2	1,6	1,4	1,5	13,3	4,2	0,0	17,4	15,8	1,6	0,0	17,4
8	644770	644550	646550	MG	2,000	3	1,3	0,2	0,7	0,8	0,4	0,6	48,8	45,2	1,6	1,8	1,7	8,5	20,6	12,5	41,6	8,3	20,5	13,1	41,9
						1	3,0	0,1	1,6	3,1	0,1	1,6	12,3	13,0	1,5	1,8	1,6	15,5	16,3	0,0	31,8	16,5	16,8	0,0	33,3
						2	1,6	1,5	1,6	2,0	1,5	1,7	17,9	20,4	1,7	2,1	1,9	29,3	9,8	0,0	39,1	29,9	13,8	0,0	43,7
						4	1,8	0,4	1,1	2,4	0,8	1,6	40,4	43,7	1,9	2,3	2,1	16,8	17,7	15,9	50,4	16,5	20,0	18,0	54,6
9	708650	705889	709400	MG	3,511	3	2,7	0,8	1,7	3,1	0,7	1,9	30,0	25,7	2,6	2,6	2,6	18,7	13,1	17,0	48,8	18,8	14,3	16,9	50,0
						1	2,2	1,1	1,7	0,9	1,6	1,2	28,8	25,7	1,7	1,8	1,8	18,9	16,9	10,2	46,0	20,9	18,3	0,0	39,2
						2	3,0	0,5	1,7	2,6	0,8	1,7	25,7	20,6	1,9	1,9	1,9	19,7	12,7	38,6	71,0	21,2	11,8	40,3	73,2
						4	1,4	1,0	1,2	0,9	1,7	1,3	24,9	30,4	2,5	2,6	2,5	12,1	11,5	21,4	45,1	12,9	12,8	19,4	45,0
10	769000	766500	769700	MG	3,200	3	0,5	1,3	0,9	0,6	1,2	0,9	103,6	109,2	2,4	2,6	2,5	11,7	15,4	20,8	47,8	11,4	14,0	22,1	47,5
						1	1,7	0,1	0,9	1,5	0,0	0,8	27,8	16,3	1,9	2,0	1,9	20,2	28,7	6,7	55,6	19,5	32,5	5,0	57,0
						2	1,5	0,1	0,8	2,1	0,0	1,1	25,7	38,5	1,7	1,8	1,7	23,6	25,1	14,1	62,8	21,7	24,2	12,3	58,3
						4	0,9	1,3	1,1	0,3	1,6	1,0	118,8	107,2	1,9	2,3	2,1	12,3	12,1	27,7	52,1	11,7	16,4	27,2	55,4

VI.19.3 – CONFIGURAÇÃO DE CLIMA NO HDM-4

As zonas climáticas representam as condições do clima com base na classificação da umidade, precipitação, condição da água no pavimento e do regime de temperatura. São aspectos importantes, pois o clima tem um grande impacto na deterioração dos pavimentos. Conforme apresentado na Figura 139, no Brasil os climas são controlados por massas de ar equatoriais, tropicais e polares, destacando 5 zonas climáticas: (i) Equatorial Úmido; (ii) Tropical; (iii) Litorâneo Úmido; (iv) Tropical Semi-Árido; e (v) Sub-Tropical Úmido. As temperaturas média mensal e média anual e as precipitações total mensal e total anual que ocorrem no Brasil são apresentadas na Figura 140.

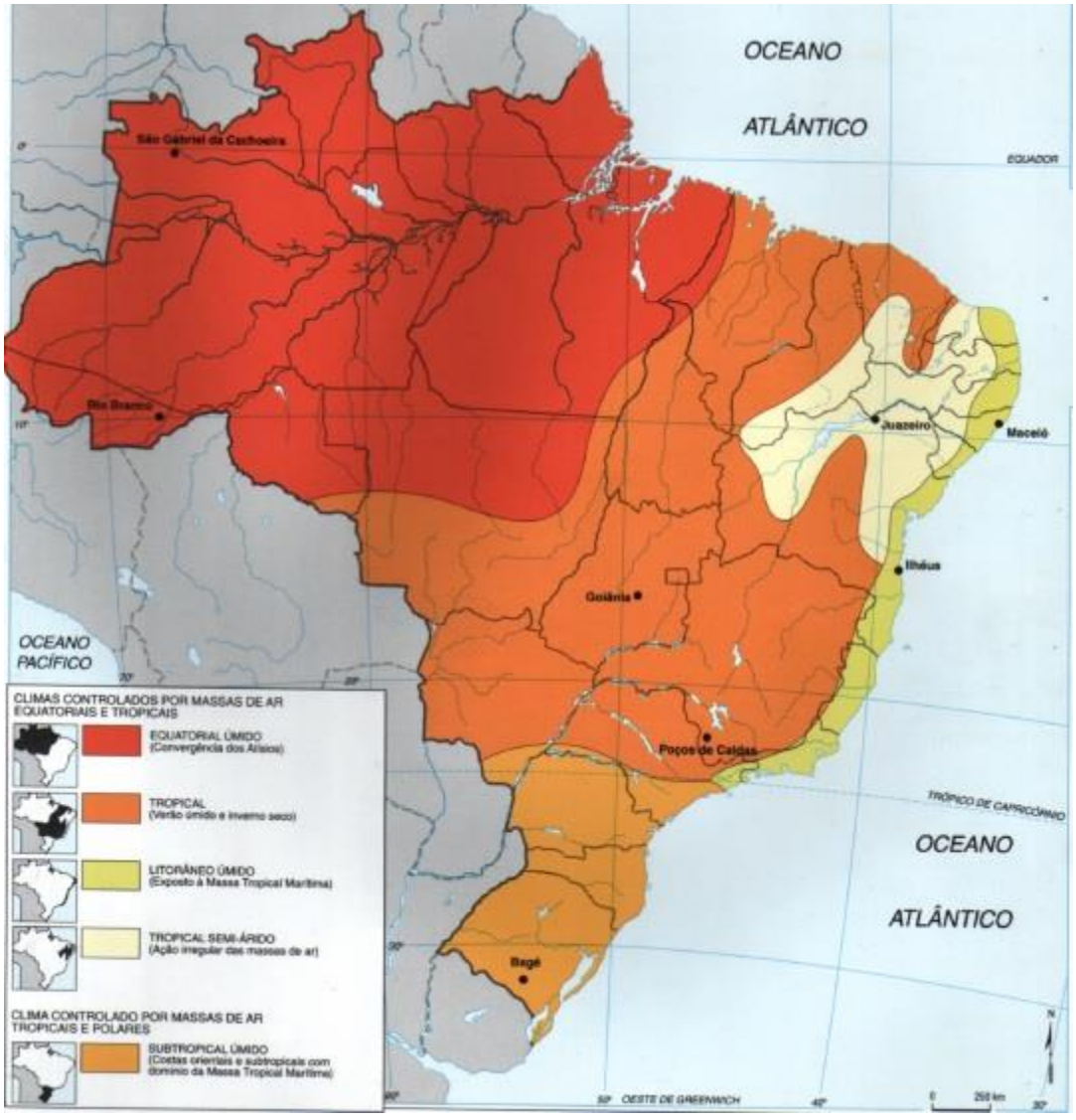


Figura 139 – Clima do Brasil.

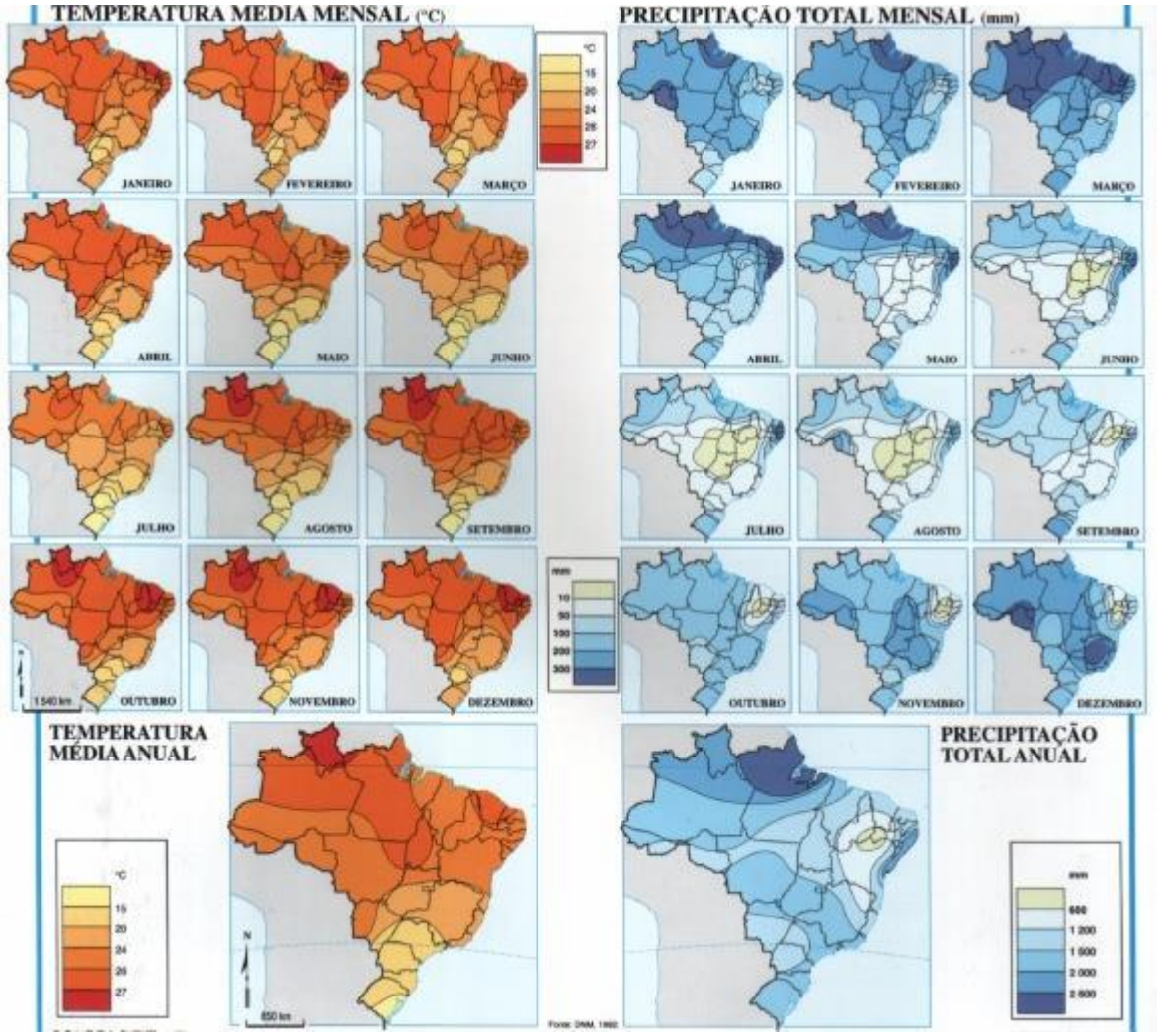


Figura 140 – Temperaturas e precipitações médias no Brasil.

No HDM-4 as zonas de clima são utilizadas para representar as condições climáticas nos diferentes trechos da Malha Rodoviária. Os dados que representam estas condições climáticas interferem no processo de deterioração dos pavimentos. Conforme apresentado nas Figuras 139 e 140, a Via040 encontra-se inserida no clima Tropical. A configuração da Zona Climática Tropical do HDM-4 foi modificada para representar a condição do clima (Figura 141), conforme definido por Queiroz e Silva (2004). Entretanto, maiores levantamentos sobre a informação do clima conduziram a uma subsegmentarão das zonas climáticas no HDM-4: (i) Brasília/DF a Três Marias/MG – Tropical; e (ii) Três Marias/MG a Juiz de Fora/MG - Tropical de Altitude. Com o novo zoneamento climático houve pequena modificação na configuração de clima apresentada por Queiroz e Silva (2004). Como a modificação não foi significativa e também não houve alterações impactantes nos resultados das análises de previsibilidade, adotou-se a configuração climática recomendada por Queiroz e Silva (2004), apresentada na Figura 141.

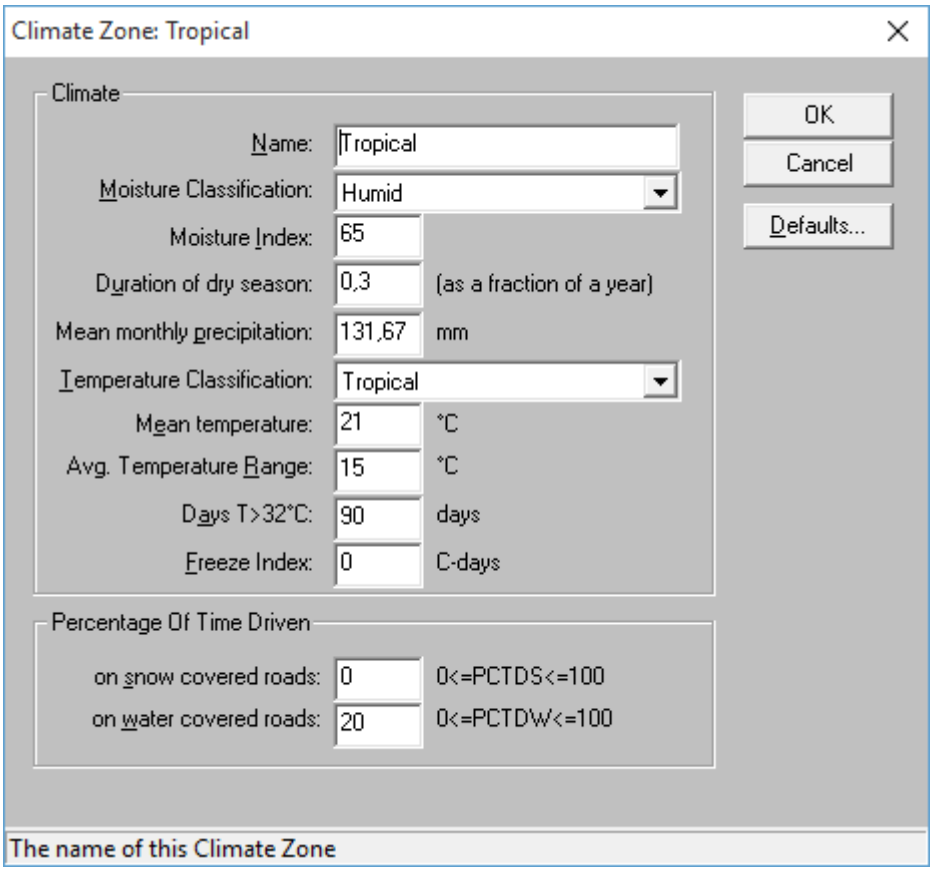


Figura 141 – Configuração da Zona Climática Tropical (Queiroz e Silva, 2004).

1- Nome da Zona de Clima

2- Moisture Classification → Classificação da umidade

· Árida

· Semi-árida

· Sub-úmida

· Úmida

· Muito úmida

3- Moisture Index → Índice de Umidade (Im)

Índice de Umidade (Im) – Thornthwaite Moisture Index (T.M.I), conforme definido por Thornthwaite e Mather (1957)

No trabalho de Rizzini e Pinto (1964 apud Medina e Motta, 2015), do Serviço de Meteorologia, pesquisadores do Jardim Botânico do Rio de Janeiro e do Serviço de Meteorologia, respectivamente, apresenta a classificação climático-vegetacional do Brasil. Baseia-se no fato de

existir concordância entre os complexos vegetacionais (um tipo predominante de vegetação com outros secundários associados) estabelecidos por Rizzini e as zonas climáticas segundo dois critérios, o de Thornthwaite e o de Mohr. A seguir é apresentado o mapa climático-vegetacional do Brasil.



Figura 142 – mapa climático-vegetacional do Brasil (Rizzini e Pinto, 1964 apud Medina e Motta, 2015).

4- Duração da estação seca como uma fração do ano

Durartion of dry season → Duração de estação seca como fração em anos

5- Precipitação Média Mensal

Mean monthy precipitation - Precipitação mensal média, em mm

6- Temperature classification → Classificação da Temperatura

· Tropical

· Subtropical

· Subtropical quente

· Temperada fria

· Temperada gelada

7- Mean temperature → Temperatura Anual Média em Cº

Faixa de Temperatura Ambiente Média

8- Faixa de Temperatura Anual

Avg. Temperature Range → Valor Médio mensal da Variação de Temperatura em ºC

9- Days T>32ºC → Número de Dias no ano em que a temperatura ultrapassou a 32ºC

Número de dias quando a Temperatura excede a 32ºC

10- Freeze Index → Índice de Congelamento ºC dias

11 - Percentagem of Time Driven → Porcentagem de Tempo Dirigido

· On snow covered roads → Porcentagem de viagens realizadas em rodovias com neve.

· On water covered roads → Porcentagem de viagens realizadas em rodovias com chuva.

Zonas de Clima

As zonas de clima são usadas para representar as condições climáticas nos diferentes trechos da Malha Rodoviária. Os conjuntos de dados que representam estas condições climáticas interferem no efeito de deterioração do pavimento.

Climas Controlados por Massas de Ar Equatoriais e Tropicais

- Equatorial Úmido
- Tropical
- Tropical Sub-Úmido
- Litorâneo Úmido
- Tropical Semi-Árido

Clima Controlado por Massa de Ar Tropical e Polar

Subtropical Úmido

VI.19.4 – FROTA DE VEÍCULOS

A Frota de Veículos foi classificada de acordo com abordagem flexível em que veículos são divididos em categorias de motorizados e não motorizados, e cada categoria é dividida em classe de veículo. Uma classe inclui vários tipos de veículo (ou veículos representativos), que o usuário

pode especificar baseando em um dos vários tipos de veículo. Esta abordagem atende as necessidades de muitos países e satisfaz todos os requisitos analíticos no sistema. Assim, os veículos representativos da Frota da Via040 foram definidos por uma hierarquia de três níveis (Figura 143).

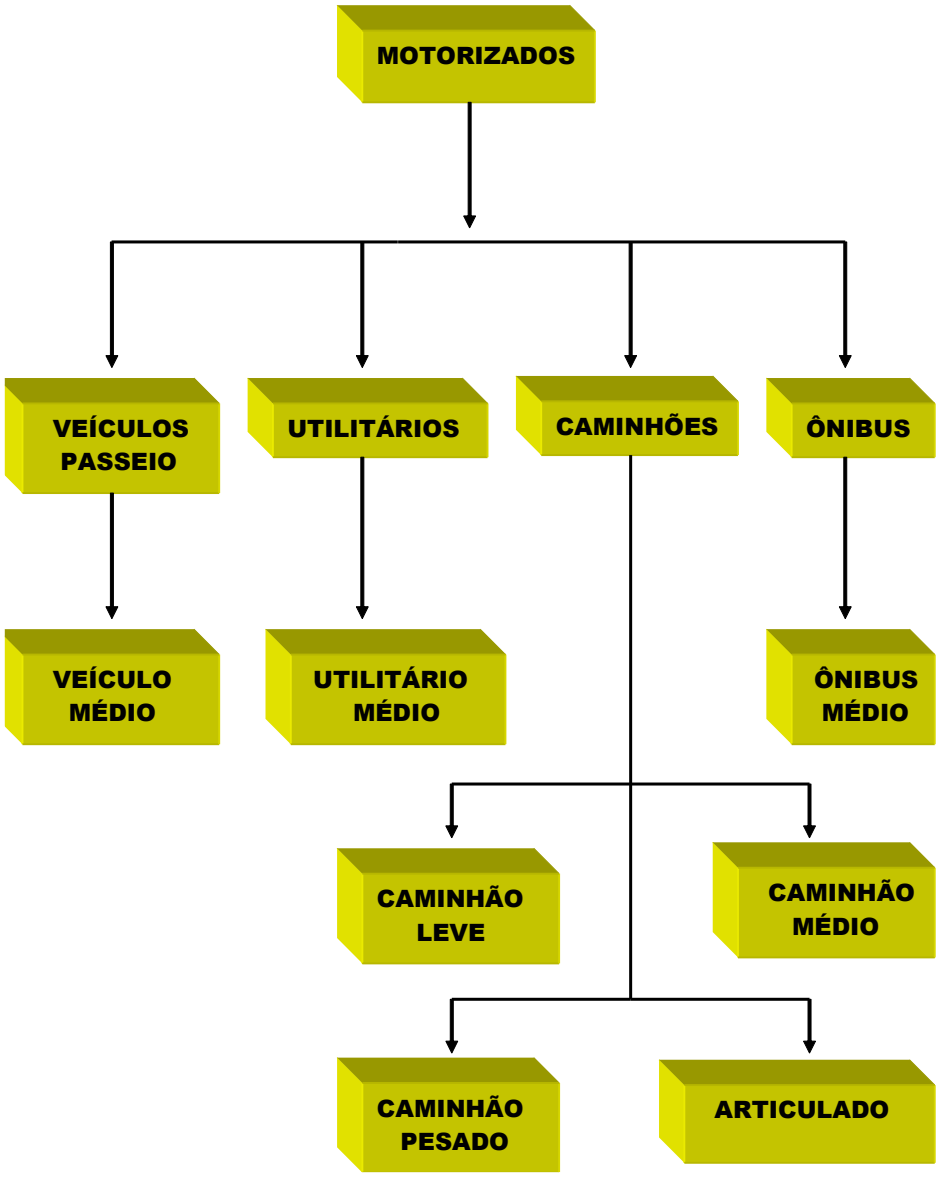
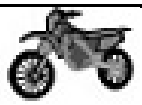


Figura 143 – Representação hierárquica dos veículos motorizados em categorias, classes e tipos.

A seguir apresenta-se a Frota de Veículos da Via040.

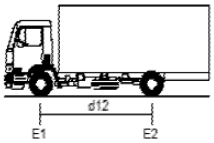
Motos



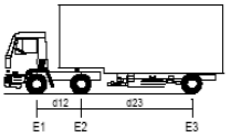
Automóveis



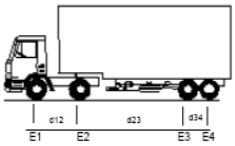
2C: Veículo Comercial Leve com dois eixos



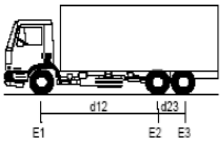
2S1: Veículo Comercial Leve com três eixos



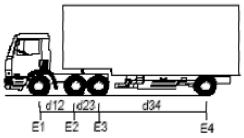
2S2: Veículo Comercial Leve com quatro eixos



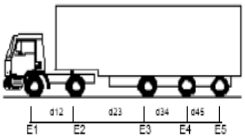
3C: Veículo Comercial Pesado com três eixos



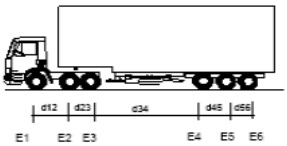
3S1: Veículo Comercial Pesado com quatro eixos



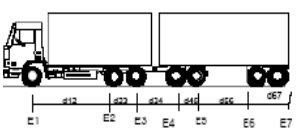
2I3: Veículo Comercial Pesado com cinco eixos



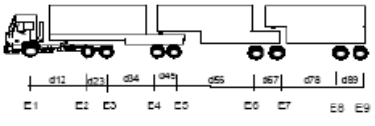
3S3: Veículo Comercial Pesado com seis eixos



3D4: Veículo Comercial Pesado com sete eixos



3T6: Veículo Comercial Pesado com nove eixos



No modelo HDM-4 pode-se definir qualquer número de veículos, baseados em 16 tipos de veículos motorizados representativos. O modelo pode capacitar à modelagem de vários tipos de

veículos, por exemplo, inúmeros caminhões pesados, cada um tendo diferentes padrões de carregamento (ou grupo de eixos). A montagem da Frota da Via040 foi modelada baseando-se nas características dos 12 veículos contados e classificados nos estudos de tráfego realizados no primeiro trimestre do projeto de RDT. Para modelagem foi necessário atribuir certas informações chaves para representação dos veículos:

- Atributos Físicos dos Veículos tais como, número de eixos, número de rodas, etc;

- Características de performance como poder de direção e frenagem e

- Utilização do veículo e tempo de serviço.

Como as Características e Utilização dos veículos são mais importantes para análises de efeitos sobre os usuários da rodovia, os dados referentes a esses dois itens foram definidos em função de pesquisas feitas em concessionárias e sites dos fabricantes, sendo adotado, para a maioria, o *default* do HDM-4. Por outro lado, os Atributos Físicos influenciam diretamente na previsão de desempenho do pavimento. Assim, buscou-se precisão nos dados de entrada dos Atributos Físicos dos Veículos e as demais informações foram preenchidas com valores médios representativos. Ressalta-se que uma análise voltada para verificar o custo operacional dos veículos (efeitos sobre os usuários da rodovia) as informações sobre os itens Características e Utilização devem ser pesquisadas para obter resultados mais precisos.

A seguir são apresentados os itens de impacto nas previsões de desempenho dos pavimentos, exemplificado por meio das telas de montagem de um determinado veículo da Frota da Via040 (no caso, o caminhão 3S3, típico do transporte de minério que circula no Quadrilátero Ferrífero).

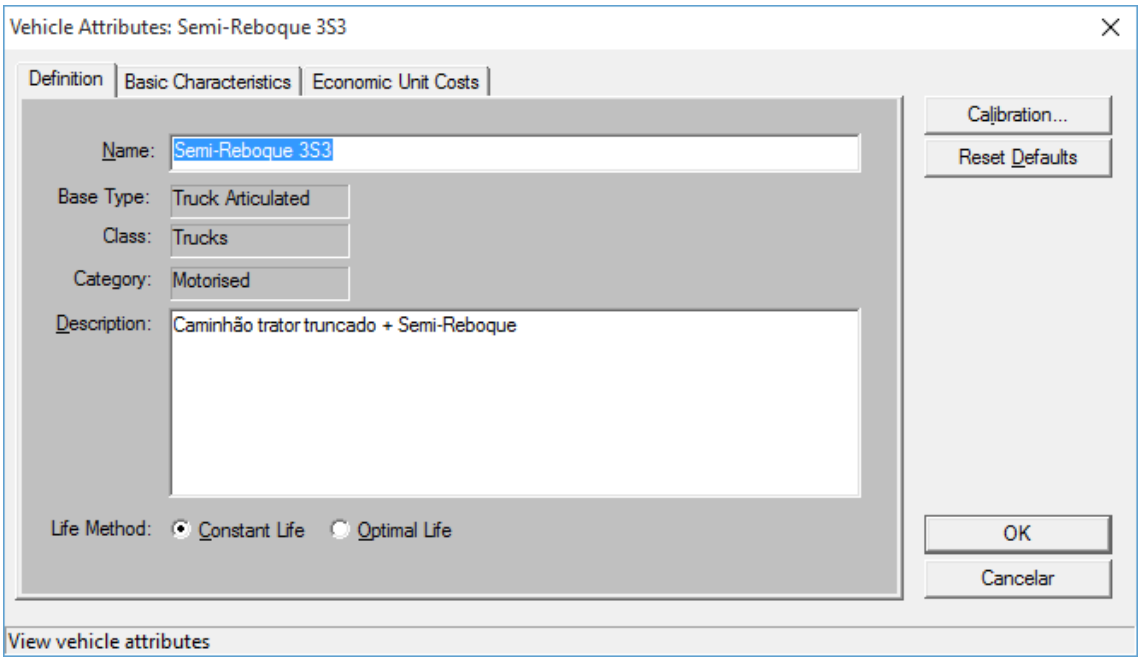


Figura 144 – Montagem do caminhão 3S3: Definição.

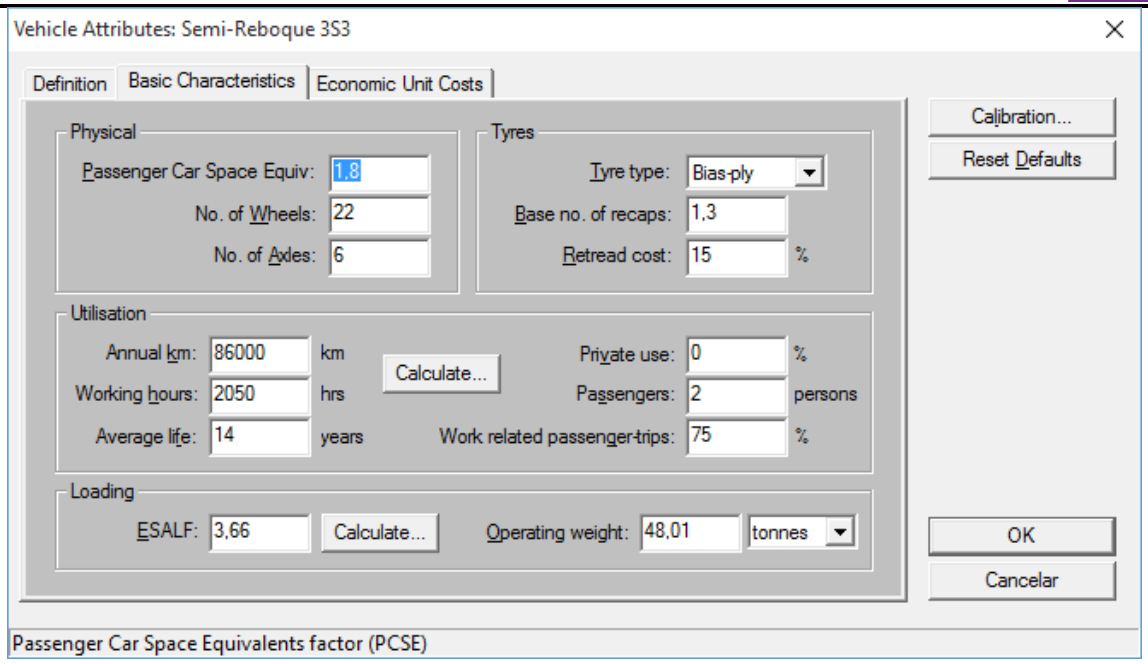


Figura 145 – Montagem do caminhão 3S3: Características Básicas.

Sobre as Características Básicas deve-se atentar para o preenchimento dos números de pneus e de eixos. Ressalta-se que o número de eixos refere-se a quantidade de eixos e não ao número de grupo de eixos. São 6 eixos e 3 grupos de eixos (1 simples, 1 tandem duplo e 1 tandem triplo). O carregamento (*Loading*) é de extrema importância para as análises de deterioração dos pavimentos e depende dos resultados das pesagens dos veículos.

VI.19.5 - CARREGAMENTO DO EIXO

Fator de dano do veículo e massa

A massa do veículo influencia na velocidade, combustível e consumo de pneu e o fator de dano do veículo pesado, tem impacto importante na taxa de deterioração do pavimento. A influência de massa não é importante para pavimentos em terreno plano, porém, a presença de rampas resultará em aumento importante de consumo de combustível e este aumento é proporcional a massa de veículo. É difícil obter uma estimativa confiável de massa do veículo sem pesquisa de campo. Portanto, foram realizadas pesagens de veículos no primeiro trimestre do projeto de RDT. Os Fatores de Dano dos Veículos foram determinados com base nos resultados das pesagens.

Fator de Dano do Veículo (VDF)

O Fator de Dano do Veículo (VDF) representa o efeito causado no pavimento, por ação de um veículo pesado. É determinado em função da configuração de eixo e de sua massa. O VDF é calculado usando a equação (Watanatada *et al.*, 1987):

$$VDFVEH_k = \sum_{l=1}^{n} \left(\frac{AX_l}{SX_l} \right)^4$$

Onde:

VDFVEHk = fator de dano do veículo para veículo *k* (ESA/veículo);

VDF = fator de dano de veículo para uma série de veículos (ESA/veículo);

AXi = carga no eixo *i* (toneladas);

SXi = carga do eixo normal para o grupo de eixo *j* (toneladas);

n = número de eixos do veículo; e

z = número de veículos no fluxo.

A carga do eixo normal SXi para diferentes configurações são (Watanatada *et al.*, 1987):

6.60 ton - roda simples, eixo simples;

8.16 ton - roda dupla, eixo simples;

9.00 ton - roda dupla, por eixo tandem;

15.1 ton - roda dupla, por grupo de eixo tandem;

10.0 ton - roda dupla, por eixo triplo e

22.9 ton - roda dupla, por grupo de eixo triplo.

Note a semelhança com o Fator de Equivalência de Carga da DNER 159-PRO/85 (Figura 22).

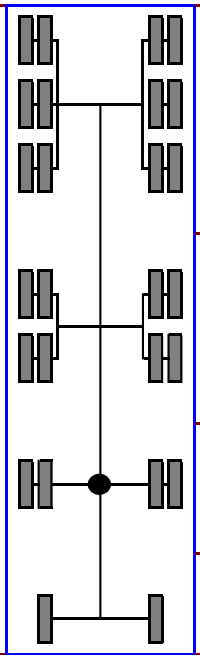
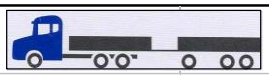
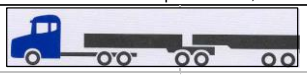
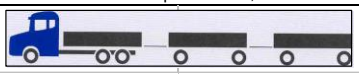
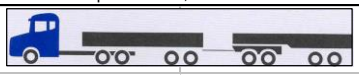
Tipo de Eixo		Equações (P em kN)	Equações (P em tf)
	**Tandem Triplo (Rodagem Dupla)**	$F(TT) = \left(\frac{P}{225{,}06} \right)^{4{,}22}$	$F(TT) = \left(\frac{P}{22{,}9} \right)^{4{,}22}$
	Tandem Duplo (Rodagem Dupla)	$F(TD) = \left(\frac{P}{147{,}88} \right)^{4{,}14}$	$F(TD) = \left(\frac{P}{15{,}1} \right)^{4{,}14}$
	Simples de Rodagem Dupla	$F(SD) = \left(\frac{p}{80{,}12} \right)^{4{,}32}$	$F(SD) = \left(\frac{P}{8{,}16} \right)^{4{,}32}$
	Simples de Rodagem Simples	$F(SS) = \left(\frac{P}{76{,}20} \right)^{4{,}32}$	$F(SS) = \left(\frac{P}{6{,}6} \right)^{4{,}32}$

Figura 146 – Fator de Equivalência de Carga da Norma DNER 159-PRO (1985).

O VDF é a soma de todos os fatores de carga do eixo, para todos os grupos de eixos de um veículo. O VDF deve representar a média de todas as classes de veículos no tráfego, inclusive de vazios, parcialmente carregados e completamente carregados ou acima da carga prevista.

Conforme apresentado na Figura 147, estudos realizados por Queiroz e Silva (2004) demonstram que praticamente não há diferença entre os resultados obtidos pelos modelos do DNER 159-PRO (1985) e do HDM-4 (ESALF). Assim, o usuário pode alimentar o sistema HDM-4 por qualquer um desses dois modelos. Mais adiante será mostrado que os cálculos podem ser realizados diretamente no HDM-4 (Figura 148). Nesse caso, o expoente é igual a 4 e o SXi é aquele previsto por Watanatada *et al.* (1987).

Veículos		PBTC (ton)	Carregamento 100% PBTC			Carregamento 80% PBTC		
N	MODELOS		PESO 100%	FC PRO-159	ESALF	PESO 80%	FC PRO-159	ESALF
1	 Romeu e Julieta - comprimento 19,80 m	50	50	6,152	6,007	40	2,520	2,342
2	 Romeu e Julieta - comprimento 19,80 m	57	57	5,503	5,255	45,6	2,254	2,081
3	 Bitrem articulado -comprimento 19,80 m	57	57	5,503	5,255	45,6	2,254	2,081
4	 Treminhão - comprimento 30,00 m	63	63	11,311	11,547	50,4	4,633	4,430
5	 Treminhão - comprimento 30,00 m	63	63	11,311	11,547	50,4	4,633	4,430
6	 Tritrem - comprimento 30,00 m	74	74	7,109	6,897	59,2	2,912	2,733
7	 Rodotrem - comprimento 30,00 m	74	74	7,109	6,897	59,2	2,912	2,733

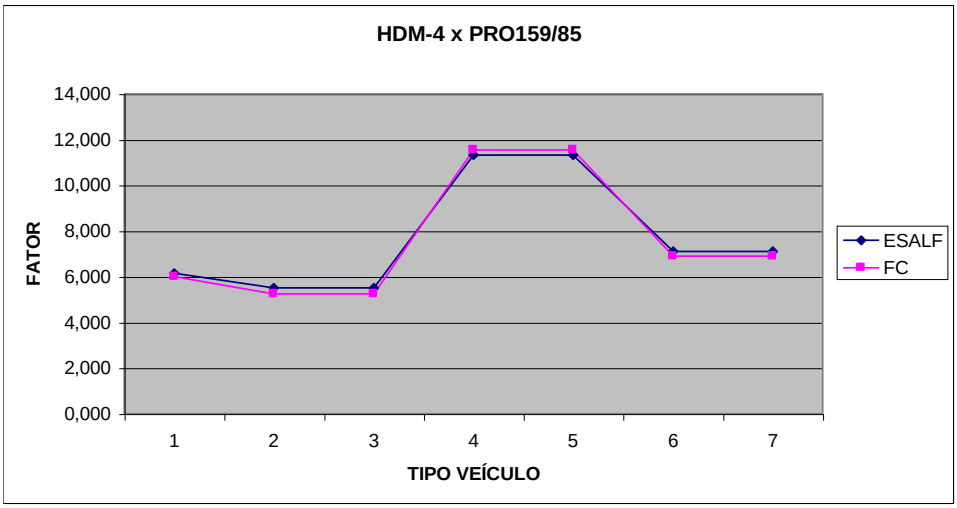


Figura 147 – Análise comparativa entre o Fator de Equivalência de Carga do HDM-4 e da Norma DNER 159-PRO/85 (Queiroz e Silva, 2004).

Necessidade de dados de carregamento do eixo

As seguintes medidas de carga de eixo predizem, os impactos o tráfego, na deterioração do pavimento e efeitos de manutenção:

- Números de eixos do veículo (YAX)

Definido como o número total de eixos de todos os veículos que atravessam uma determinada seção da rodovia para um dado ano.

- Números de carregamento do eixo normal equivalente (ESA)

ESA é considerado em cada seção de estrada, para todo ano do período de análise.

Eixos do veículo

Para cada tipo de veículo, o número de eixos, YAXk, passando por uma determinada seção da rodovia, em um ano específico, é computado como o volume de tráfego multiplicado pelo número de eixos, por veículo, dos tipos envolvidos. O número total de todos os eixos, YAX, em um determinado ano, é obtido somando YAXk para todos tipos de veículos.

$$YAX_k = \frac{T_k * NUM_AXLES_k}{ELANES * 10^6}$$

$$YAK = \sum_{k=1}^{k} YAK_k$$

Onde:

YAX = número total anual de eixos de todos tipos de veículo (milhões por pista).

Tk = volume de tráfego anual do tipo de veículo *k*, (*k* = 1, 2, . . , K).

NUM_AXLESk = número de eixos por tipo de veículo *k.*

ELANES = número efetivo de pistas para a seção de estrada.

O número efetivo de faixas ELANES é usado para modelar o efeito de distribuição do tráfego através da largura das rodovias pavimentadas. Isto pode ser especificado pelo usuário ou ser tomado o padrão igual ao número de faixas (NLANES), para a seção da rodovia.

Fator de carga equivalente do eixo normal

O fator de carga equivalente do eixo normal é definido como o número de aplicações do eixo simples padrão, roda dupla, carga 80kN, que causaria a mesma quantidade de danos para uma rodovia, como uma aplicação de carga do eixo que está sendo considerado. O valor de ESALF para cada tipo de veículo pode ser diretamente especificado pelo usuário, ou calculado como informação de carga do eixo definida na Frota de Veículo.

Para cada tipo de veículo, ESALFk é computado usando informações sobre os diferentes efeitos de danos de várias configurações de eixo. Para cada tipo de grupo de eixo *j*, um padrão de carga, SAXLj, é usado para determinar relação de carregamento. A expressão para calcular ESALF é como segue Watanatada *et al.* (1987):

$$ESALF_k = \sum_{i=1}^{l_k} \frac{P_{ki}}{100} \sum_{j=1}^{j_k} \left(\frac{AXL_{jlj}}{SAXL_j} \right)^{LE}$$

Onde:

ESALFk = fator de carga equivalente do eixo normal para tipo de veículo *k*, em carga equivalente do eixo normal.

Ik = o número de i de subgrupos (definido em termos de alcance de carga) de tipo de veículo *k (i = 1, 2, . . ., Ik*). Observe que *i* pode representar cada veículo individual.

Pki = porcentagem de veículos de subgrupo *i* de tipo de veículo *K*. Se *i* representa cada veículo individual então Pki = 100 (%).

LE = expoente de carga de eixo equivalente (valor padrão = 4.0).

Jk = número de eixos simples por veículo de tipo *k (j = 1, 2, . . ., Jk*).

AXLkij = média de carga do eixo *j* do alcance de carga *i* de em tipo de veículo *k* (toneladas).

SAXLj = carga do eixo normal simples de tipo de grupo de eixo *j*, por exemplo, 6.60 toneladas para roda simples de eixo simples, 8.16 toneladas para roda dupla de eixo simples, etc.

O fator ESALFk é então uma média de todos os tipos de veículos *k*, carregado e descarregado, em ambas as direções numa determinada seção da rodovia.

O número total anual de eixos normais equivalentes é calculado pela expressão:

$$YE4 = \sum_{k=1}^{k} \frac{T_k * ESALF_k}{ELANES * 10^6}$$

Onde:

YE4 = número anual total de eixo normal equivalente (milhões por pista).

A seguir apresenta-se o procedimento de cálculo realizado no próprio HDM-4 (Figura 148). A partir da Tela Características Básicas apresentada na Figura 145 no campo "*Loading"* deve-se clicar na janela "*Calculate"*. Monta-se os 3 grupos de eixos (1 simples, 1 tandem duplo e 1 tandem triplo), insere o veículo (Vehicle 1) e os respectivos pesos de cada grupo de eixo e preenche o campo SAXL com o valo correspondente ao grupo de eixo (6.60 para eixo simples de roda simples, 15.1 para o eixo tandem duplo e 22.9 para o eixo tandem triplo. Avançando os cálculos são efetuados e o valor final incorporado ao veículo.

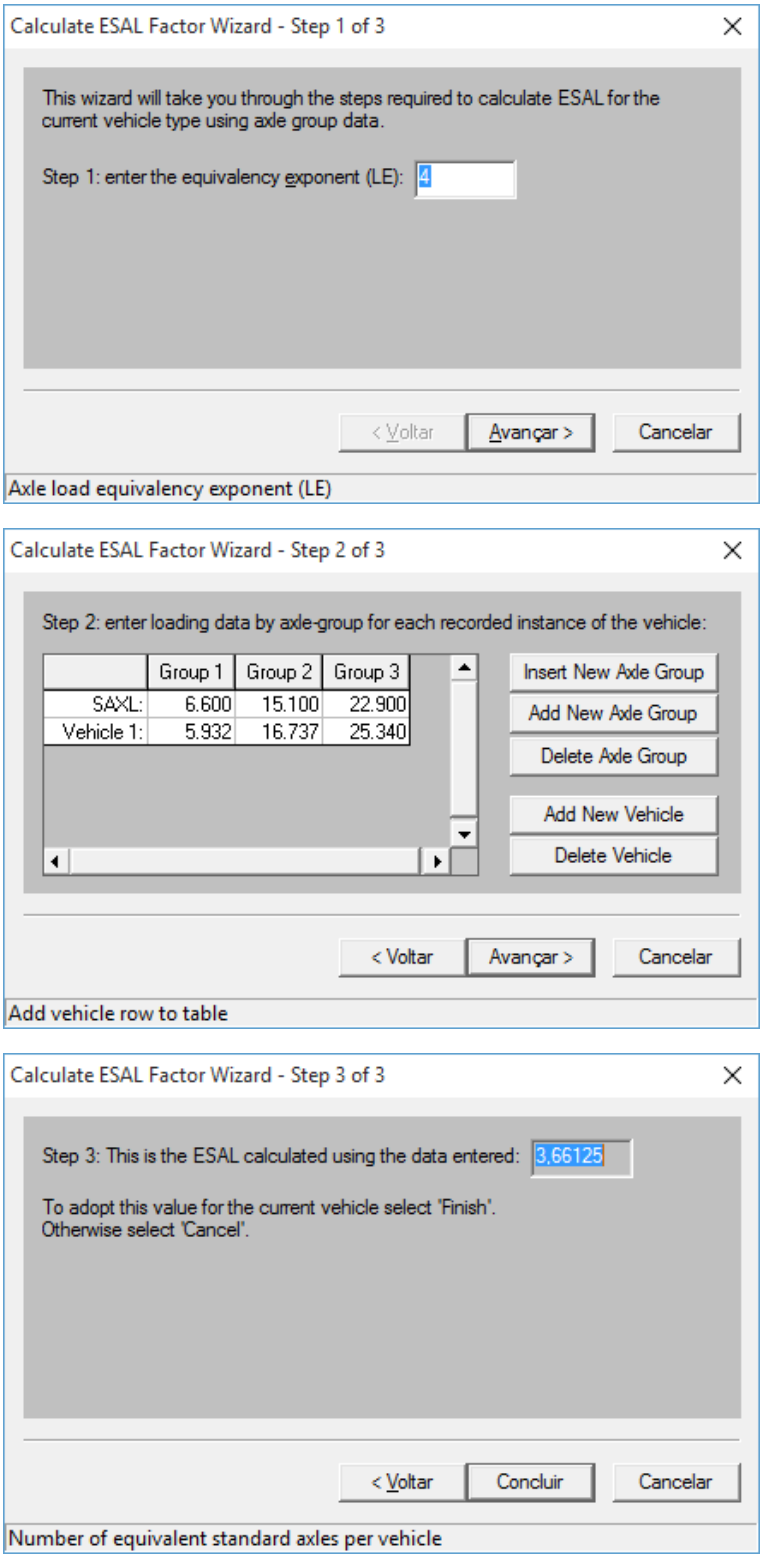


Figura 148 – Determinação do ESAL por meio do sistema HDM-4.

As Tabelas 94 a 97 apresentam os cálculos dos ESALFs das Frotas de Veículos utilizadas para cada Unidade de Amostragem.

Tabela 94 – ESALF das Frotas de Veículos das Unidades de Amostragem UA01, UA02, UA03, UA04 e UA05.

Veículo		Eixos Pesados										ESALF
		1º Grupo		2º Grupo		3º Grupo		4º Grupo		5º Grupo		
Código	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	
moto	200											0,0000
auto	1.392											0,0000
p	1.392											0,0000
2C	9.991	6,60	4.118	8,16	5.873							0,4199
2S1	17.050	6,60	4.590	8,16	8.890	8,16	3.570					1,6794
2S2	21.859	6,60	5.479	8,16	7.342	15,10	9.039					1,2587
3C	17.847	6,60	5.288	15,10	12.559							0,8906
3D4	59.168	6,60	6.412	15,10	17.866	15,10	17.139	15,10	17.551			6,3355
3S1	19.913	6,60	4.723	15,10	10.107	8,16	5.083					0,6136
3S3	48.009	6,60	5.932	15,10	16.737	22,90	25.340					3,6612
2I3	29.130	6,60	5.840	8,16	10.570	8,16	7.540	8,16	2.760	8,16	2.420	4,1782
3T6	73.640	6,60	6.203	15,10	14.750	15,10	18.227	15,10	14.840	15,10	19.620	7,5969

Tabela 95 – ESALF das Frotas de Veículos da Unidade de Amostragem UA06.

Veículo		Eixos Pesados										ESALF
		1º Grupo		2º Grupo		3º Grupo		4º Grupo		5º Grupo		
Código	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	
moto	221											0,0000
auto	1.359											0,0000
p	1.359											0,0000
2C	7.901	6,60	3.298	8,16	4.603							0,1636
2I3	22.340	6,60	530	8,16	420	8,16	4.340	8,16	9.450	8,16	7.600	2,6313
2S1	12.489	6,60	3.242	8,16	4.753	8,16	4.494					0,2653
2S2	17.102	6,60	4.173	8,16	5.701	15,10	7.229					0,4505
3C	14.092	6,60	3.905	15,10	10.187							0,3297
3D4	44.093	6,60	4.624	15,10	13.776	15,10	13.255	15,10	12.438			1,9877
3S1	13.725	6,60	4.615	15,10	5.670	8,16	3.440					0,2905
3S3	37.435	6,60	4.753	15,10	12.931	22,90	19.751					1,3601
3T6	52.766	6,60	4.708	15,10	12.498	15,10	12.924	15,10	10.938	15,10	11.700	1,9004

Tabela 96 – ESALF das Frotas de Veículos da Unidade de Amostragem UA07.

Veículos		Eixos Pesados										ESALF
		1º Grupo		2º Grupo		3º Grupo		4º Grupo		5º Grupo		
Código	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	SAXL	Peso	
moto	203											0,0000
auto	1.425											0,0000
p	1.359											0,0000
2C	9.979	6,60	3.956	8,16	6.023							0,4258
2I3	28.510	6,60	4.580	8,16	6.395	8,16	8.230	8,16	4.525	8,16	4.780	1,8562
2S1	18.330	6,60	4.908	8,16	7.612	8,16	5.810					1,3201
2S2	20.085	6,60	4.611	8,16	6.282	15,10	9.192					0,7268
3C	17.241	6,60	4.471	15,10	12.770							0,7220
3D4	50.457	6,60	5.247	15,10	15.161	15,10	15.240	15,10	14.809			3,3783
3S1	18.515	6,60	4.790	15,10	9.100	8,16	4.625					0,5125
3S3	40.403	6,60	4.958	15,10	13.583	22,90	21.863					1,8038
3T6	67.003	6,60	5.053	15,10	15.828	15,10	15.768	15,10	14.853	15,10	15.500	4,7866

Tabela 97 – ESALF das Frotas de Veículos das Unidades de Amostragem UA08, UA09 e UA10.

Veiculos		Eixos Pesados										ESALF
		1º Grupo		2º Grupo		3º Grupo		4º Grupo		5º Grupo		
Código	Peso	Divisort	Peso	Divisort	Peso	Divisort	Peso	Divisort	Peso	Divisort	Peso	
moto	221											0,0000
auto	1.359											0,0000
p	1.359											0,0000
2C	8.548	6,60	3.659	8,16	4.889							0,2233
2I3	29.130	6,60	5.840	8,16	10.570	8,16	7.540	8,16	2.760	8,16	2.420	4,1782
2S1	15.286	6,60	4.270	8,16	5.695	8,16	5.322					0,5934
2S2	18.634	6,60	4.781	8,16	6.572	15,10	7.281					0,7502
3C	13.400	6,60	4.404	15,10	8.996							0,3242
3D4	51.800	6,60	6.364	15,10	15.144	15,10	15.341	15,10	14.950			3,9028
3S1	16.614	6,60	5.157	15,10	6.727	8,16	4.730					0,5250
3S3	42.850	6,60	5.983	15,10	14.329	22,90	22.538					2,4246
3T6	73.640	6,60	6.203	15,10	14.750	15,10	18.227	15,10	14.840	15,10	19.620	7,5969

Na Figura 149 apresenta-se a montagem final da Frota de Veículos para uma determinada Unidade de Amostragem.

HDM-4 - [Vehicle Fleet: FROTA_UA01_040 - Definition Data]

Workspace Fleet View Window Help

Name	Class	Data Last Modified	Base Type	Category
Automóvel	Passenger Cars	23/10/2015	Car Medium	Motorised
Caminhão 2C	Trucks	23/10/2015	Truck Medium	Motorised
Caminhão 3C	Trucks	23/10/2015	Truck Medium	Motorised
Motocicleta	Motorcycles	23/10/2015	Motorcycle	Motorised
Semi-Reboque 2I3	Trucks	23/10/2015	Truck Articulated	Motorised
Semi-Reboque 2S1	Trucks	23/10/2015	Truck Articulated	Motorised
Semi-Reboque 2S2	Trucks	23/10/2015	Truck Articulated	Motorised
Semi-Reboque 3D4	Trucks	23/10/2015	Truck Articulated	Motorised
Semi-Reboque 3S1	Trucks	23/10/2015	Truck Articulated	Motorised
Semi-Reboque 3S3	Trucks	23/10/2015	Truck Articulated	Motorised
Semi-Reboque 3T6	Trucks	23/10/2015	Truck Articulated	Motorised
Utilitário	Utilities	23/10/2015	Goods Vehicle Light	Motorised

Figura 149 – Frota de Veículos de uma determinada Unidade de Amostragem.

VI.19.6 - NÚMERO “N” E O MODELO HDM-4

As normas e manuais do DNIT recomendam a utilização do número “N” para o dimensionamento de pavimentos flexíveis, assim como para a definição de intervenções. O número N é definido como sendo o número de repetições de um eixo-padrão de 8,2 t (18.000 lb ou 80 kN), durante o período de vida útil do projeto, que teria o mesmo efeito que o tráfego previsto sobre a estrutura do pavimento.

O HDM-4 utiliza parâmetros análogos àqueles necessários ao cálculo do número N, a fim de prever o comportamento do pavimento ao longo do tempo. Sendo assim, é possível traçar um paralelo entre o método do DNIT e o HDM-4.

Determinação do Número “N”

O cálculo do número N é realizado de acordo com as cargas por eixo do Método da AASHTO ou do Método do Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE). Considerando o tráfego de um ano, tem-se a seguinte expressão:

$$N = 365 \cdot VMD \cdot FV$$

Onde:

N = número de repetições da carga do eixo padrão de 8,2 t por ano considerado equivalente aos eixos dos veículos comerciais da frota circulante.

VMD = Volume Médio Diário dos Veículos Comerciais por ano.

FV = Fator de Veículo (Veículos Comerciais).

O VMD é avaliado, em geral, considerando os dois sentidos de tráfego e todas as faixas de rolamento, sendo obtido por meio de séries históricas existentes e/ou contagens volumétricas classificatórias para o trecho da rodovia em análise. Para possibilitar o estudo de cada faixa de rolamento separadamente, deve-se inserir o Fator Direcional (FD) no cálculo do número N. Este parâmetro indica a porcentagem do tráfego da rodovia que passa em determinada faixa. Dessa forma, o número N para uma faixa específica é dado por:

$$N = 365 \cdot VMD \cdot FV \cdot FD$$

O Manual de Estudos de Tráfego do DNIT sugere, no caso da falta de dados mais precisos, o seguinte percentual de veículos para a faixa mais solicitada:

Tabela 98 – Percentuais de veículos comerciais na faixa mais solicitada.

Número de faixas de Tráfego da rodovia	Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto (c)
2 (pista simples)	50 %
4 (pista dupla)	35 a 48 %
6 ou mais (pista dupla)	25 a 48 %

O número N da faixa de rolamento avaliada é calculado a partir do somatório das parcelas de tráfego relativas a cada tipo de veículo, da seguinte forma:

$$N = \sum_{i=1}^{i=k} 365 \cdot VDM_i \cdot FV_i \cdot FD$$

Onde:

i = categoria do veículo, variando de 1 a k.

k = número de categorias de veículo.

VMD_i = Volume Médio Diário de veículos da categoria i por ano.

FV_i = Fator de Veículo da categoria i.

O Fator de Veículo (FV_i) de determinado veículo da categoria i é dado pelo somatório dos Fatores de equivalência de Carga (FC_j) correspondente aos eixos j daquele veículo:

$$FV_i = \sum_{j=1}^{j=m} FC_j$$

Onde:

j = tipo de eixo, variando de 1 a m.

m = número de eixos do veículo i.

FC_j = fator de equivalência de carga correspondente ao eixo j do veículo i.

O desenvolvimento de fatores de equivalência de carga por eixo se deu a partir de estudos em trechos experimentais da AASHTO e do USACE (Corpo de Engenheiros do Exército Norte-americano), conforme explica o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT. As várias seções de pavimento foram submetidas ao carregamento de veículos com diferentes tipos de eixos e cargas. Foram avaliados os efeitos do carregamento na perda de serventia para diversas concepções de pavimento.

Os fatores de equivalência da AASHTO baseiam-se na perda de serventia (PSI) e variam com o tipo do pavimento (flexível e rígido), índice de serventia terminal e resistência do pavimento (número estrutural – SN). Eles são diferentes dos obtidos pelo USACE, que avaliaram os efeitos do carregamento na deformação permanente (afundamento nas trilhas de roda). As expressões para cálculo dos fatores de equivalência de carga são apresentadas nas Tabelas 99 e 100.

Tabela 99 – Fatores de equivalência de carga da AASHTO.

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simples de rodagem simples	$FC = (P / 7{,}77)^{4{,}32}$
Simples de rodagem dupla	$FC = (P / 8{,}17)^{4{,}32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15{,}08)^{4{,}14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22{,}95)^{4{,}22}$

Tabela 100 - Fatores de equivalência de carga do USACE.

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2{,}0782 \times 10^{-4} \times P^{4{,}0175}$
	≥ 8	$FC = 1{,}8320 \times 10^{-6} \times P^{6{,}2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1{,}5920 \times 10^{-4} \times P^{3{,}472}$
	≥ 11	$FC = 1{,}5280 \times 10^{-6} \times P^{5{,}484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8{,}0359 \times 10^{-5} \times P^{3{,}3549}$
	≥ 18	$FC = 1{,}3229 \times 10^{-7} \times P^{5{,}5789}$

Os valores “P” são determinados por pesagens de eixos em balanças fixas ou móveis. Pela distribuição dos pesos totais pelos eixos do veículo são, então, obtidas as cargas por eixo.

Determinação do Parâmetro YE4 (HDM-4)

No HDM-4, o número total de eixos normais equivalentes de um determinado tráfego é representado pelo parâmetro YE4, sendo este análogo ao número N adotado pelo DNIT. O YE4 é calculado da seguinte forma:

$$YE4 = \sum_{k=1}^{k=K} \frac{T_k \cdot ESALF_k}{ELANES \cdot 10^6}$$

Onde:

YE4 = número anual total de eixo normal equivalente (milhões por pista).

T_k = volume de tráfego anual do tipo de veículo k, (k = 1, 2, . . , K).

K = número de tipos de veículo.

ELANES = número efetivo de pistas para a seção de estrada.

$ESALF_k$ = fator de carga equivalente do eixo normal para tipo de veículo k, em carga equivalente do eixo normal.

O Fator Direcional (FD) está relacionado ao parâmetro ELANES definido no HDM-4. Verifica-se, no entanto, que a simples definição do número de faixas implica na afirmação de que o tráfego é dividido igualmente entre elas, o que não necessariamente é verdade, especialmente em casos de pista dupla. Uma alternativa que permite a realização de um estudo mais detalhado do tráfego e da sua influência no pavimento seria através da utilização de ELANES = 1, informando ao programa o tráfego referente à faixa avaliada apenas. Dessa forma, ter-se-ia a possibilidade de estudar diferentes distribuições de tráfego entre as pistas de rolamento da rodovia.

O $ESALF_k$ é análogo ao Fator de Veículo (FV_i) utilizado nos manuais do DNIT. O seu cálculo se aproximan consideravelmente do método da AASHTO. O valor do $ESALF_k$ pode ser obtido da seguinte forma:

$$ESALF_k = \sum_{i=1}^{i=ik} \frac{P_{k_i}}{100} \sum_{j=1}^{j=jk} \left(\frac{AXL_{kij}}{SAXL_j} \right)^{LE}$$

Onde:

ik = o número de i de subgrupos (definido em termos de alcance de carga) de tipo de veículo k (i = 1, 2, . . ., ik). Observe que i pode representar cada veículo individual.

P_{ki} = porcentagem de veículos de subgrupo i de tipo de veículo k. Se i representa cada veículo individual então P_{ki} = 100 (%).

LE = expoente de carga de eixo equivalente (valor padrão = 4,0).

jk = número de eixos simples por veículo de tipo k (j = 1, 2, . . ., jk).

AXL_{kij} = média de carga do eixo j do alcance de carga i de em tipo de veículo k (toneladas).

$SAXL_j$ = carga do eixo normal simples de tipo de grupo de eixo j, por exemplo, 6,60 toneladas para roda simples de eixo simples, 8,16 toneladas para roda dupla de eixo simples, etc.

O volume de tráfego (T_k) de um tipo de veículo k, no HDM-4, é obtido através da combinação da composição do tráfego (inserida como a porcentagem de cada tipo de veículo k) e do parâmetro AADT (que indica a média diária anual de veículos para determinado trecho da rodovia).

Sintetizando o exposto neste item, pode-se elaborar a seguinte tabela relacionando os parâmetros utilizados no HDM-4 e nos manuais do DNIT.

Tabela 101 – Parâmetros análogos entre o método do DNIT e o HDM-4.

Parâmetro DNIT (AASHTO)	**Unidade**	**Parâmetro HDM-4**	**Unidade**
Número N	unidades/faixa	YE4	milhões/faixa
Fator de Veículo (FV)	adimensional	ESALF	adimensional
Fator Direcional (FD)	%	ELANES	nº de faixas
VDM	unidades/dia	AADT	unidades/dia
P	tf	AXL	tf
Constantes (6,6 / 8,16 / 15,1 / 22,9)	tf	SAXL (6,6 / 8,16 / 15,1 / 22,9)	tf

VI.19.7 - COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO DA FROTA DE VEÍCULOS

A montagem da composição de tráfego no HDM-4 é apresentada através de percentual. Também se deve informar a taxa de crescimento anual do tráfego na seção analisada. Para elaboração das análises adotou-se a taxa prevista no PER, sendo da ordem de 3,5% para cada veículo. Ressalta-se que tal taxa de crescimento deve ser pesquisada por veículo, pois as taxas são individuais e podem ser maiores ou menores que o valor adotado. Visto o momento da economia do Brasil, pode ser que a taxa seja inferior à prevista. Atenção especial deve ser dada a esse item. Recomenda-se que todos os anos sejam realizadas contagens volumétricas classificatórias em cada UA. A mesma importância deve ser dada à pesagem de veículos.

A Figura 150 apresenta a forma de inserção dos resultados da contagem para uma determinada UA. O VMD é reconhecido automaticamente para a UA selecionada, pois já havia sido informado o valor quando da montagem da Malha Rodoviária. A composição inicial é informada através do percentual de cada veículo. O HDM-4 flexibiliza a forma de entrada da taxa de crescimento, aceitando diferentes percentuais para cada tipo de veículo.

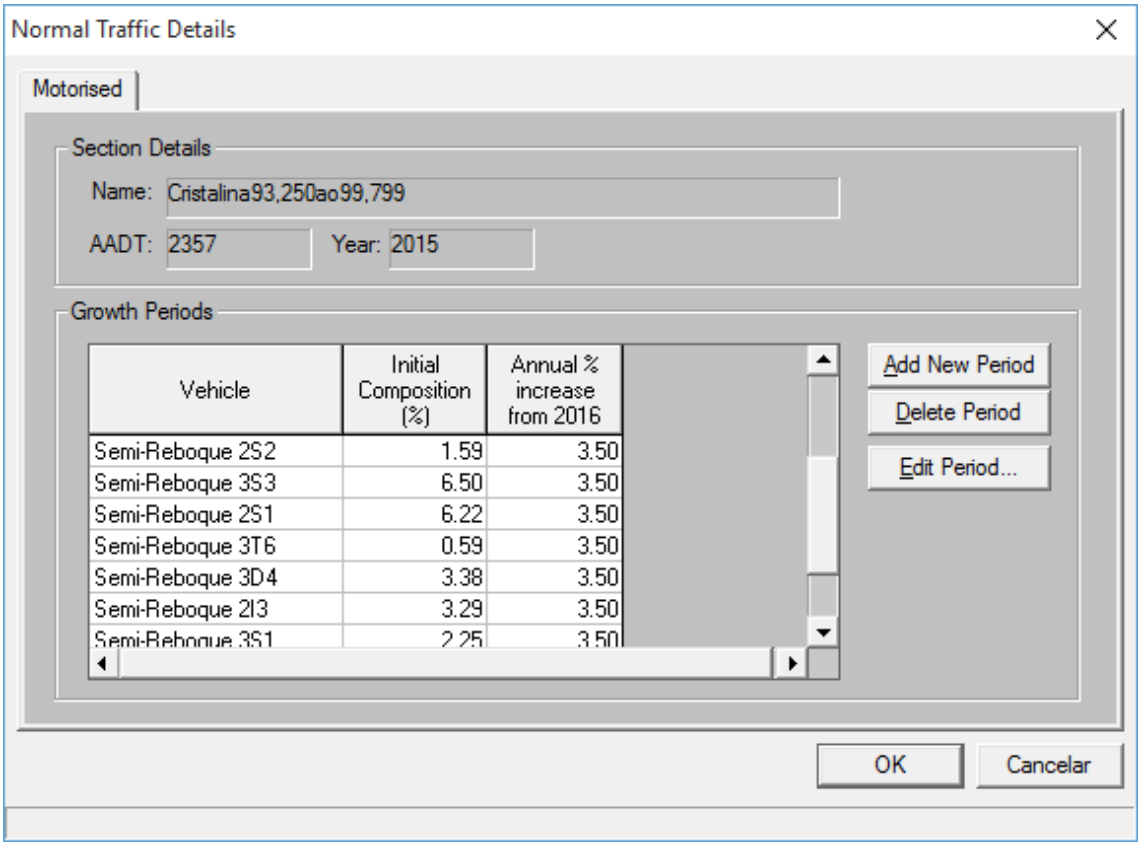


Figura 150 – Composição do tráfego de uma determinada Frota de Veículos que circula numa Unidade de Amostragem.

VI.19.8 - NORMALIZAÇÃO DAS DEFLEXÕES MÁXIMA (D_0) OBTIDAS PELO FWD

O HDM-4 utiliza o Número Estrutural do Pavimento (SNP) como forma de expressar a capacidade estrutural de um dado pavimento. Dentre as formas de obtenção do SNP, a relação desenvolvida por Paterson (1987) para o Banco Mundial, de abrangência internacional, é uma das mais importantes. Essa relação, de viés empírico, permite o cálculo do SNP com base na deflexão máxima (em mm), obtida por meio de ensaio de Viga Benkelman com carga de Eixo Simples de Roda Dupla de 80 kN e pressão nos pneus de 0,52 Mpa, a partir das seguintes equações:

$SNP = 3{,}2 \cdot {D_0}^{-0{,}63}$, para base granular ou

$SNP = 2{,}2 \cdot D_0^{-0{,}63}$, para base cimentada

As equações apresentadas também possuem igualmente validade para aplicação de deflexões na placa central de aplicação de carga do ensaio FWD (*Falling Weight Deflectometer*), desde que a pressão de impacto seja de 700 kPa. No Manual do HDM-4, tal informação é apresentada no volume 4, Parte C2, pág. C2-18.

Uma vez que os resultados dos ensaios deflectométricos com base no FWD são referentes a uma carga de cerca 40 kN, ter-se-á uma tensão de contato da ordem de 566 kPa, considerando uma placa de 30 cm diâmetro, usualmente adotada. Faz-se necessário, então, que os valores de deflexão, quando obtidos a partir do FWD, sejam normalizados para uma tensão de contato de 700 kPa.

Considerando-se que a deflexão máxima D_0 é inversamente proporcional à tensão aplicada sobre o pavimento (σ_{pav}), pode-se obter o valor normalizado de D_0 ($D_{0\text{-}700kPa}$). Conhecendo-se o valor da carga aplicada (P) e o diâmetro (d) da placa de aplicação da carga, pode-se obter $D_{0\text{-}700kPa}$ a partir da seguinte relação:

$$D_{0-700kPa} = D_0 \cdot \left(\frac{700\ kPa}{\sigma_{pav}}\right) = D_0 \cdot \left(175\pi\frac{d^2}{P}\right)$$

Onde:

$D_{0\text{-}700kPa}$ = deflexão máxima (em mm) normalizada para tensão de 700 kPa

D_0 = deflexão máxima (em mm) obtida no ensaio FWD

P = carga aplicada (em kN) durante o ensaio FWD

d = diâmetro (em m) da placa de aplicação da carga

Conforme pode ser observado no exemplo abaixo (Figura 151), o programa HDM-4 apresenta valores iguais de SNP quando inserido o mesmo valor de deflexão máxima para o FWD e para a Viga Benkelman.

Isso ocorre, pois o programa considera que o usuário inseriu o valor de deflexão máxima, referente ao ensaio do FWD, normalizada para 700 kPa de tensão de impacto. Uma vez que o HDM-4 não permite a entrada dos dados conforme obtidos no ensaio, fica a critério do usuário a forma com que essas informações serão normalizadas. Neste trabalho adotou-se uma relação inversamente proporcional, conforme apresentado anteriormente no cálculo do $D_{0\text{-}700kPa}$, sendo este o valor de deflexão a ser informado ao programa.

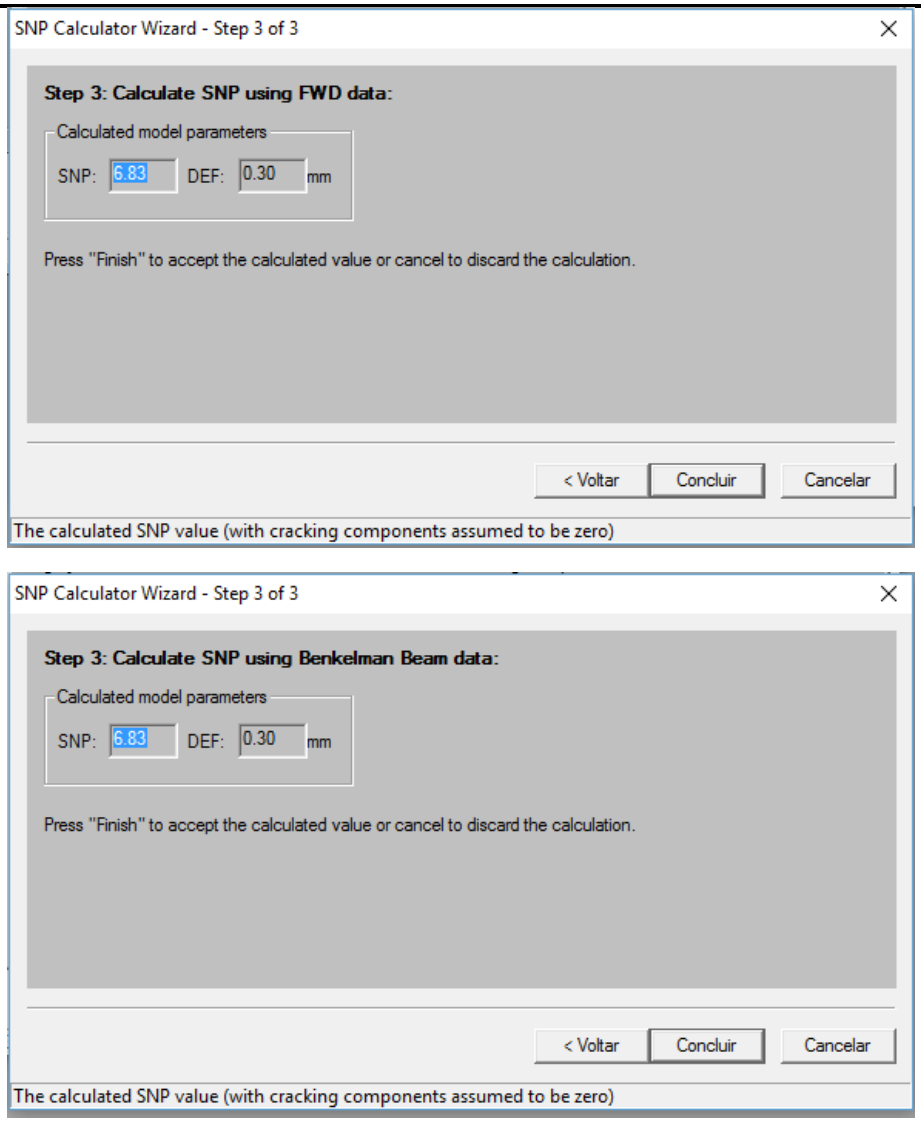


Figura 151 – HDM-4: Conversão de valores de deflexão para SNP.

VI.19.9 - AVALIAÇÃO DO ATRITO DO PAVIMENTO

Um dos principais parâmetros do pavimento é o atrito, sendo a resistência ao movimento entre duas superfícies em contato.

O coeficiente de atrito é a relação entre as duas forças:

- **Força de atrito** – força paralela à superfície de contato entre dois corpos e oposta ao movimento. No âmbito rodoviário esta superfície é a interface pneu – pavimento.
- **Força normal** – força perpendicular à superfície de contato traduz assim a carga aplicada na roda do veículo.

De acordo com Amaral (2013), para a avaliação da segurança relativamente à aderência de um pavimento é necessário caracterizar a resistência à derrapagem, sendo esta a propriedade física da superfície da estrada que retrata o contato pneu-pavimento.

A medição do coeficiente de atrito (Coeficiente transversal do atrito - CAT) permite avaliar a aderência na direção perpendicular ao movimento e é uma medida de segurança de circulação em curva.

Esta componente é medida utilizando equipamento específico, que se insere no fluxo normal do tráfego, permitindo desta forma a obtenção de valores mais aproximados às situações normais de circulação. Dos vários métodos existentes, o mais utilizado é o método das forças laterais com o equipamento SCRIM.

O modelo do software HDM-4 para gerência de pavimentos faz uso do coeficiente de atrito transversal SCRIM a 50 km/h como dado de entrada para análises. Atualmente no Brasil o uso do equipamento portátil Pêndulo Britânico para medidas de microtextura (coeficiente de atrito) se encontra bem difundida pelo fácil manuseio do equipamento e baixo custo de aquisição.

A seguir discutiremos sobre os aparelhos de SCRIM (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine - Resistência à derrapagem) e Pêndulo Britânico, chegando a uma correlação para o uso dos dados do Pêndulo Britânico dentro do software HDM-4.

SCRIM (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine)

O SCRIM (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine - Resistência à derrapagem) é um equipamento instalado em um veículo pesado (caminhão FORD CARGO), provido de um reservatório com capacidade de 3500 litros. O sistema, representado na Figura 152, é composto por uma roda de ensaio do lado direito do caminhão, o que permite que o ensaio efetuado seja realizado sobre o lado do pavimento mais solicitado pelo tráfego.

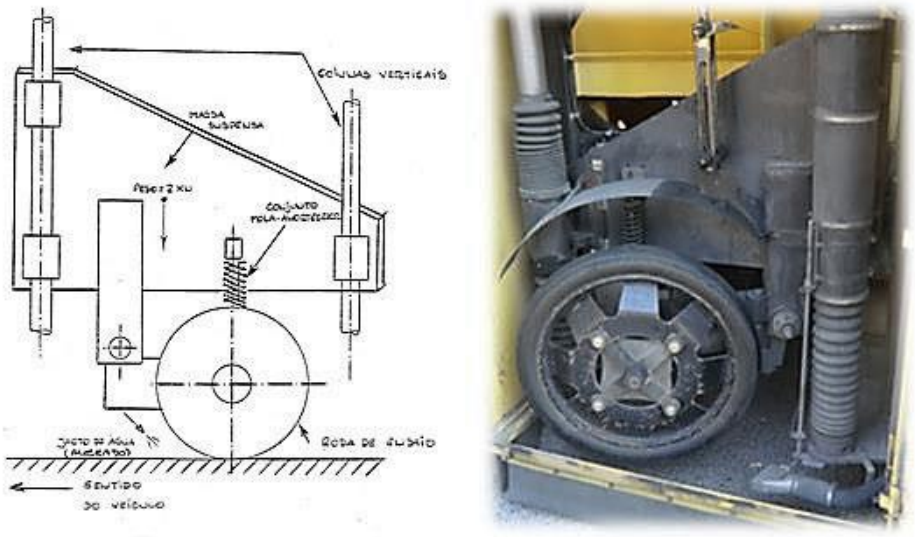


Figura 152 - Sistema de operação SCRIM (Amaral, 2013).

O pneu de ensaio tem superfície lisa com uma dureza e uma resistência normalizadas, este deverá ter uma pressão de 3,57 kgf/cm², que deverá ser verificada frequentemente, as rodas trabalham com ângulo de inclinação de 20º.



Figura 153 - SCRIM – Equipamento medidor de atrito (WDM, 2016).

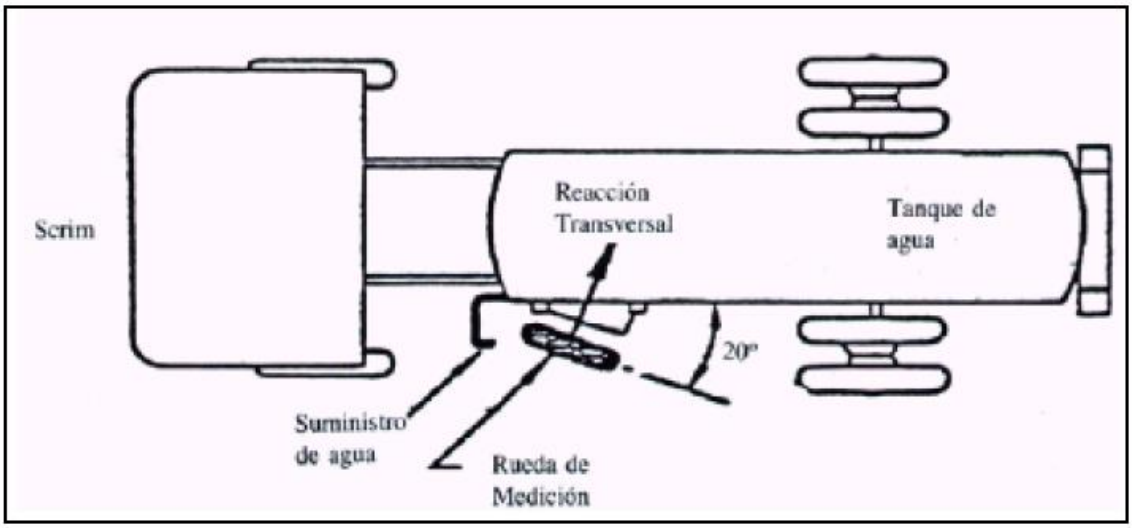


Figura 154 - SCRIM – Vista Superior. (Oliveira, 2003)

Um sistema elétrico permite levantar ou abaixar a roda de ensaio que em simultâneo abre e fecha a válvula de água em frente à roda de ensaio, permitindo assim a molhagem do pavimento. Para evitar o desgaste do pneu durante a circulação do veículo, sempre que o equipamento não esteja em ensaio a roda deve ser levantada (Amaral, 2013).

É estimado que cada roda de ensaio tenha uma durabilidade de 500km. No entanto pode ser controlado o desgaste da mesma através de marcas (furos) indicativos na superfície do pneu (Figura 155). Quando as marcas não forem visíveis o pneu deverá ser trocado.



Figura 155 - Marcas de controle do desgaste do pneu (Amaral, 2013).

De acordo com Amaral (2013), no software de armazenamento dos dados levantados é feito o controle do número de quilômetros que o pneu já mediu. No entanto o valor deve ser confirmado com os sinais efetivos de desgaste do pneu, com especial incidência quando o pneu já tiver 400 km de uso.

O veículo possui um suporte que permite o transporte de várias rodas de ensaio suplentes, permitindo assim, caso seja necessário, a substituição da mesma durante o levantamento. Na Figura 156 pode-se observar o suporte referido bem como as rodas de ensaio suplentes.



Figura 156 - Suporte com rodas suplentes no caminhão SCRIM (Amaral, 2013).

O ensaio é executado com um fluxo de água controlado de aproximadamente 0,5l/s para uma velocidade de 50km/h.

O princípio de medição consiste na aplicação de uma força de 200kg sobre a roda de ensaio sendo que esta faz um ângulo fixo de 20º com a direção de deslocamento (Amaral, 2013).

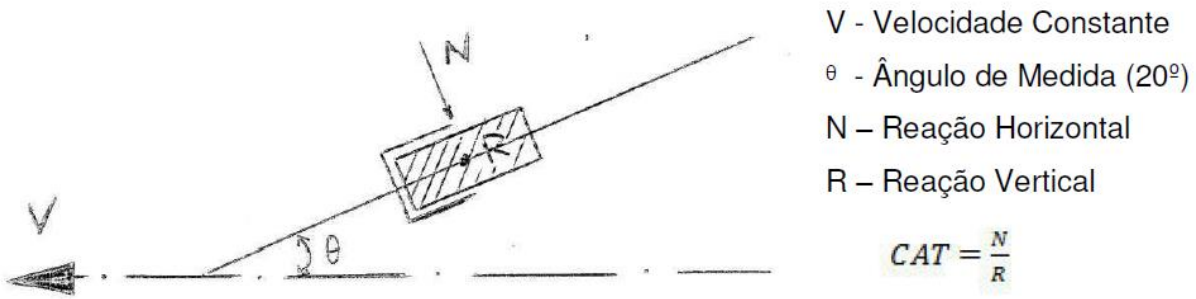


Figura 157 - Esquema do principio do ensaio (Amaral, 2013).

Enquanto o veículo se desloca, a roda de medida tende a guiar-se segundo a direção do movimento do caminhão, sendo esta impedida por um sistema munido de uma célula de carga, que mede a força exercida na direção perpendicular ao plano de movimento da roda. Os dados obtidos são relativos à reação da roda e traduzem a resistência ao esforço aplicado, ou seja, a força que a roda faz para voltar à posição paralela ao sentido do deslocamento.

O coeficiente de atrito transversal corresponde à relação entre a reação transversal provocada pela aderência pneu-pavimento (N) e a reação vertical do pavimento sobre o pneu (F), ou seja, não é mais do que a resistência à derrapagem sobre o pavimento molhado.

A partir do momento que o pavimento está molhado, a aderência decresce rapidamente e varia muito em função do tipo de pavimento. Para tornar a medida mais exata, o pavimento é molhado através de um sistema alimentado pelo reservatório do caminhão que permite manter uma película de água de 0,50mm de espessura, na interface pneu-pavimento.

A força é medida por um transdutor de extensômetros de tensão e registrado no computador. Os impulsos provenientes das rodas permitem conhecer a distância percorrida e a velocidade de ensaio.

De acordo com a Highways Agency (2015), o pavimento é ensaiado com espaçamento de 10 a 20 metros, podendo ser realizado de forma continua, possibilitando uma capacidade de levantamento diária de 200 a 300 km. O ensaio pode ser realizado na velocidade de 25 a 85km/h, sendo seus valores corrigidos para a velocidade de 50km/h através da equação.

$$SR(50) = SR(S)\ x\ (-0{,}0152\ x\ S^2 + 4{,}77\ x\ S + 799)/1000$$

Onde:

$SR(50)$: Valor de resistência a derrapagem convertido na velocidade de 50km/h.

$SR(S)$: Valor de resistência a derrapagem na velocidade de ensaio multiplicado por 100.

S: Velocidade de ensaio (km/h).

Na Tabela 102, apresentada no software HDM-4, a faixa de valores referentes ao coeficiente de atrito transversal medido através do SCRIM a 50km/h é a seguinte:

Tabela 102 - Valores referentes ao coeficiente de atrito transversal SCRIM. (Moraes, 2006)

Forma de deterioração	**Textura Superficial**		
	Boa	**Regular**	**Deslizante**
Coeficiente de atrito transversal SCRIM a 50km/h Tratamento Superficial (TS)	0,60	0,45	0,35
Coeficiente de atrito transversal SCRIM a 50km/h Concreto Asfáltico (CA)	0,50	0,40	0,35

Pêndulo Britânico

O Pêndulo Britânico é o equipamento mais difundido para determinação da microtextura. As suas vantagens são a rapidez e a facilidade de realizar o ensaio, porém sua maior desvantagem é o baixo rendimento em nível de rede.

O princípio de funcionamento do Pêndulo Britânico é a perda de energia de um pêndulo com base emborrachada ao deslizar sobre o pavimento. O ensaio determina a resistência à derrapagem na superfície e o valor de atrito medido por este equipamento é expresso em BPN (British Pendulum Number) ou, em português, VRD (Valor de Resistência à Derrapagem).

A medição do valor de atrito representativo do local ensaiado é obtido realizando-se cinco lançamentos da sapata contra o pavimento molhado, a primeira medição é descartada e com as demais se calcula o valor médio do VRD. Na figura 158 podemos ver o aparelho Pêndulo Britânico.

O ensaio do pêndulo britânico é normatizado internacionalmente pela ASTM E 303 e conforme especificado no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), a microtextura de uma superfície pode ser classificada como apresentado na Tabela 102. O Manual do DNIT

(2006) recomenda valores de VRD ≥ 55, ou seja, as superfícies devem apresentar características medianamente rugosa a rugosa.



Figura 158 - Aparelho para medidas de resistência a derrapagem (microtextura) Pêndulo Britânico.

Tabela 102 - Valores de Referencia Resistencia a Derrapagem, (Bernucci *et al.*, 2007).

Valor de Resistência à Derrapagem (VRD)	
Classificação	Limites de VRD
Perigosa	< 25
Muito Lisa	25 - 31
Lisa	32 - 39
Insuficientemente Rugosa	40 - 46
Medianamente Rugosa	47 - 54
Rugosa	55 - 75
Muito Rugosa	> 75

Correlação entre Pêndulo Britânico e SCRIM

Dentre os dados de entrada solicitados pelo HDM-4, os resultados do Ensaio SCRIM (Side-Force Coefficient Routine Investigation Machine) são importantes para a avaliação da atual

condição do pavimento. No Brasil, entretanto, a avaliação da resistência do pavimento à derrapagem é, usualmente, realizada com o auxílio do Ensaio de Pêndulo Britânico.

Muitas agências rodoviárias e fabricantes desenvolveram equações para correlacionar medidas de resistência à derrapagem obtidas a partir de diferentes dispositivos. O Reino Unido, Nova Zelândia e Chile, entre outros países, desenvolveram correlações entre o Pêndulo Britânico e o SCRIM. Bustos *et al.* (2006) traz uma síntese de algumas das principais equações conhecidas. A Tabela 103 apresenta correlações diretas entre alguns dos principais ensaios de resistência à derrapagem.

Tabela 103 – Correlações entre vários dispositivos medidores de atrito (Bustos *et al.*, 2006)

Autor	Ano	País	Equação
Transportation & Road Research Laboratory	1990	Reino Unido	SC = 0,823 GN – 0,046
Highways Agency	1994	Reino Unido	SC = BPN/ 105
Highways Directorate	2000	Chile	SC = 0,0139 BPN – 0,228
Transit NZ	2001	Nova Zelândia	ESC = 0,0071 BPN + 0,033
Transit NZ	2001	Nova Zelândia	ESC = 0,42 GN + 0,2
Central University of Chile	2003	Chile	SC = 0,7521GN + 0,154
Findlay Irvine Ltd	2004	Reino Unido	SC = 0,85 GN
GN: Grip Number; BPN: British Pendulum Number; SC: SCRIM Coefficient; ESC Equivalent SCRIM Coefficient.			

Bustos *et al.* (2006) aborda, ainda, um estudo matemático que buscou correlacionar tais ensaios levando em conta também a influência da macrotextura (no Brasil, o Ensaio de Mancha de Areia é a principal forma de avaliação desse parâmetro). Este trabalho é baseado no procedimento de harmonização proposto pela PIARC (Associação Mundial de Estradas). Este método fornece um meio eficiente para superar algumas das limitações observadas nas metodologias usuais de avaliação, uma vez que considera a resistência à derrapagem, a macrotextura e um procedimento de harmonização sob diferentes velocidades de ensaio.

O modelo proposto por Bustos *et al.* (2006) contempla três parcelas que influenciam na correlação entre dois ensaios de resistência à derrapagem. O primeiro termo da equação considera uma correlação linear entre medições obtidas por dois aparelhos distintos, o segundo termo a influência não-linear da macrotextura, e o terceiro termo o efeito combinado da macrotextura e da resistência à derrapagem. A equação abaixo ilustra tais considerações:

$$FRS_j = k_1 \cdot FRS_i + k_2 \cdot {T_x}^{k_3} + k_4 \cdot FRS_i \cdot T_x$$

Onde:

FRS_j = Medida de resistência à derrapagem do dispositivo j.

FRS_i = Medida de resistência à derrapagem do dispositivo i.

k_1, k_2, k_3 e k_4 = Coeficientes estimados estatisticamente.

T_x = Medida de macrotextura.

O trabalho de Bustos *et al.* (2006) aborda diversos ensaios e apresenta tabelas com coeficientes para todas as combinações de correlação entre os mesmos. Para a utilização do HDM-4, no entanto, tem-se interesse apenas na correlação entre o Pêndulo Britânico e o SCRIM. Para essa correlação, utilizando o Ensaio de Mancha de Areia para a avaliação da macrotextura, tem-se a seguinte equação:

$$SC = 0{,}00738 \cdot BPN + 0{,}04927 \cdot H_s^{-0{,}30542} + 0{,}00052 \cdot BPN \cdot H_s$$

Onde:

SC = Medida de resistência à derrapagem a partir do SCRIM.

BPN = Medida de resistência à derrapagem a partir do Pêndulo Britânico.

H_s = Altura de areia (mm).

A fim de comparar as diferenças entre as correlações propostas, elaborou-se um gráfico com as três equações da Tabela 103 que correlacionam o Pêndulo Britânico e o SCRIM, juntamente com a equação proposta por Bustos *et al.* (2006), que considera a influência da macrotextura. Arbitraram-se dois valores de altura de areia para permitir a comparação com as demais equações. A Figura 158 apresenta essa comparação:

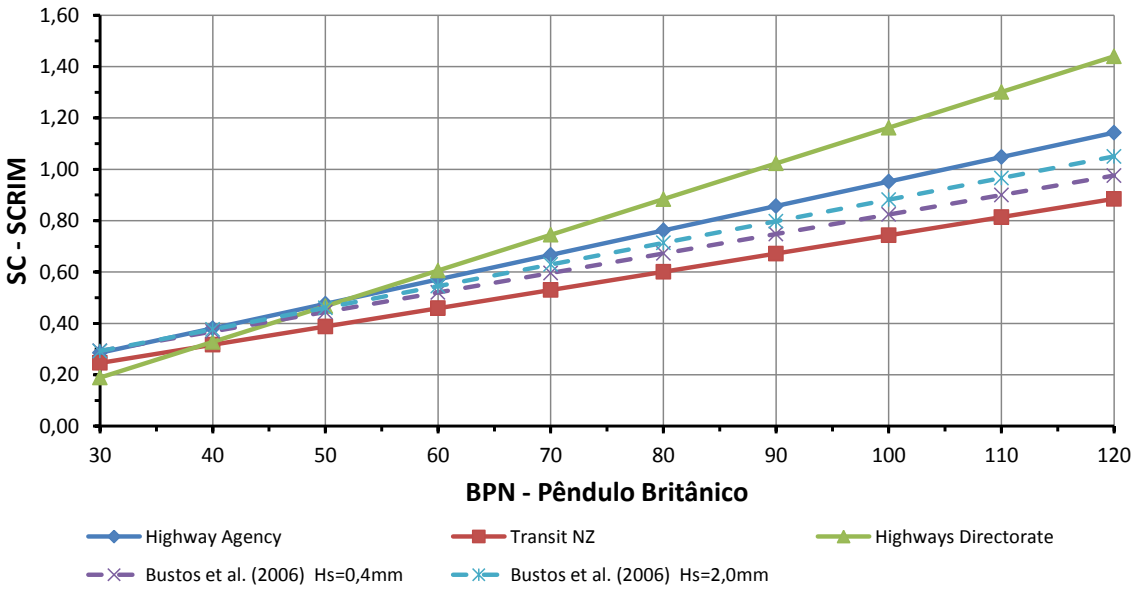


Figura 158 - Comparação entre diferentes equações para estimar os valores de SCRIM a partir do Ensaio de Pêndulo Britânico.

Verifica-se que a equação da Highway Agency apresentou resultados bastante próximos daqueles obtidos quando se considerou a influência da macrotextura. Em boa parte do gráfico, o resultado foi praticamente coincidente, apresentando divergências máximas em torno de 15% para BPN = 120, ou seja, microtextura muito rugosa.

Dada a simplicidade da correlação proposta pela Highway Agency, a não necessidade de consideração da macrotextura na equação e a significativa proximidade com a equação de Bustos *et al.* (2006), que leva em conta a macrotextura, é razoável adotar tal correlação para a alimentação de dados no HDM-4. A equação adotada tem, então, a seguinte forma:

$$SC = \frac{BPN}{105}$$

Onde:

SC = Medida de resistência à derrapagem a partir do SCRIM.

BPN = Medida de resistência à derrapagem a partir do Pêndulo Britânico.

VI.19.10 - MONTAGEM DA MALHA RODOVIÁRIA

Mesmo apresentado condições de tráfego, funcional e estrutural diferentes, as Unidade de Amostragem (UAs) foram montadas em uma única Malha Rodoviária. Entretanto, devido às características particulares de cada uma, quando da elaboração dos cenários de previsão de desempenho, as análises foram elaboradas individualmente. Ressalta-se que o mais adequado para o usuário do HDM-4 seria montar uma rede com diversos segmentos homogêneos contínuos da rodovia que estejam inseridos num mesmo segmento homogêneo em termos de volume e carregamento de tráfego.

A seguir nas Figuras 159 a 163 são apresentadas as Telas do HDM-4 com os dados de entrada necessários para montagem de um determinado segmento, no caso uma Unidade de Amostragem. Cada Tela (Definição, Geometria, Pavimento e Condição) é seguida de uma Tabela (Tabelas 104 a 107) contendo os dados de cada Unidade de Amostragem (UA).

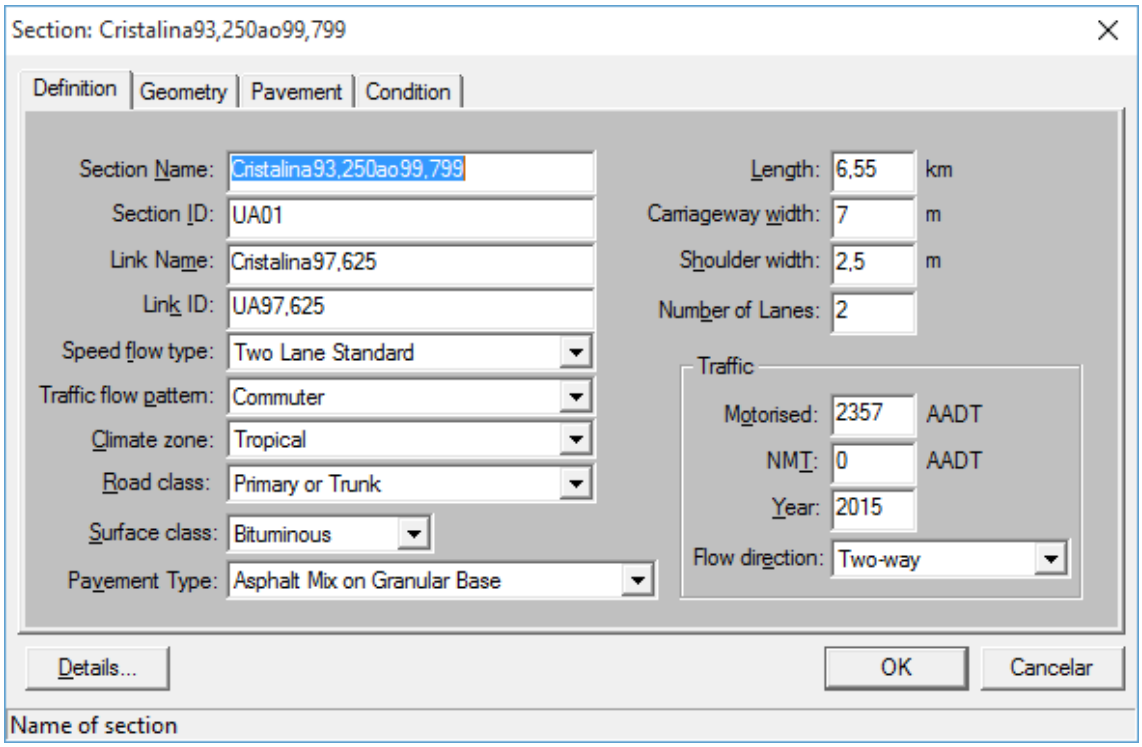


Figura 159 – Montagem de uma Unidade de Amostragem no HDM-4: Definição.

Tabela 104 – Parâmetros de entrada de Definição de cada Unidade de Amostragem (UA).

DEFINITION					
Características					
Section Name	Section ID	Link Name	Link ID	Speed Flow Type	Traffic Flow Pattern
SECT_NAME	SECT_ID	LINK_NAME	LINK_ID	SPEED_FLOW	TRAF_FLOW
Cristalina93,250ao99,799	UA01	Cristalina97,625	UA97,625	Two Lane Standard	Commuter
Paracatu51,600ao54300	UA02	Paracatu52,065	UA52,065	Two Lane Standard	Commuter
JoaoPinheiro148,980ao155,250	UA03	JoaoPinheiro153,250	UA153,250	Two Lane Standard	Commuter
TresMarias257,819ao264,122	UA04	TresMarias260,470	UA260,470	Two Lane Standard	Commuter
Felixlandia350,820ao355,844	UA05	Felixlandia352,550	UA352,550	Two Lane Standard	Commuter
Curvelo405,000ao407,200	UA06	Curvelo407,650	UA407,650	Two Lane Standard	Commuter
Itabirito568,450ao576,250	UA07	Itabirito574,600	UA574,600	Four Lane Road	Commuter
ConselheiroLafaiete644,550ao646,550	UA08	ConselheiroLafaiete644,770	UA644,770	Four Lane Road	Commuter
Barbacena705,889ao709,400	UA09	Barbacena708,650	UA708,650	Four Lane Road	Commuter
JuizdeFora766,500ao769,700	UA10	JuizdeFora769,000	UA769,000	Four Lane Road	Commuter

DEFINITION				
Características				
Section ID	Link ID	Road Class	Surface Class	Pavement Type
SECT_ID	LINK_ID	ROAD_CLASS	SURF_CLASS	PAVE_TYPE
UA01	UA97,625	Primary or Trunk	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base
UA02	UA52,065	Primary or Trunk	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base
UA03	UA153,250	Primary or Trunk	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base
UA04	UA260,470	Primary or Trunk	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base
UA05	UA352,550	Primary or Trunk	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base
UA06	UA407,650	Primary or Trunk	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base
UA07	UA574,600	Primary or Trunk	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base
UA08	UA644,770	Primary or Trunk	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base
UA09	UA708,650	Primary or Trunk	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base
UA10	UA769,000	Primary or Trunk	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base

DEFINITION					
Dimensão					
Section ID	Link ID	Lenght	Carriageway Width	Shoulder Width	Number of Lanes
SECT_ID	LINK_ID	LENGTH	CWAY_WIDTH	SHLD_WIDTH	NUM_LANES
UA01	UA97,625	6,55	3,50	2,50	1,00
UA02	UA52,065	2,70	3,50	2,50	1,00
UA03	UA153,250	6,27	3,50	2,50	1,00
UA04	UA260,470	6,30	3,50	2,50	1,00
UA05	UA352,550	5,02	3,50	2,50	1,00
UA06	UA407,650	2,20	3,50	2,50	1,00
UA07	UA574,600	7,80	3,50	0,00	1,00
UA08	UA644,770	2,00	3,50	0,00	1,00
UA09	UA708,650	3,51	3,50	2,50	1,00
UA10	UA769,000	3,20	3,50	0,00	1,00

DEFINITION					
Traffic					
Section ID	Link ID	Motorised	NMT	Year	Flow Direction
SECT_ID	LINK_ID	MT_AADT	NM_AADT	AADT_YEAR	DIRECTION
UA01	UA97,625	4750	0,00	2015	Two Way
UA02	UA52,065	1911	0,00	2015	Two Way
UA03	UA153,250	1635	0,00	2015	Two Way
UA04	UA260,470	1423	0,00	2015	Two Way
UA05	UA352,550	2366	0,00	2015	Two Way
UA06	UA407,650	1611	0,00	2015	Two Way
UA07	UA574,600	9084	0,00	2015	Two Way
UA08	UA644,770	5340	0,00	2015	Two Way
UA09	UA708,650	4556	0,00	2015	Two Way
UA10	UA769,000	4952	0,00	2015	Two Way

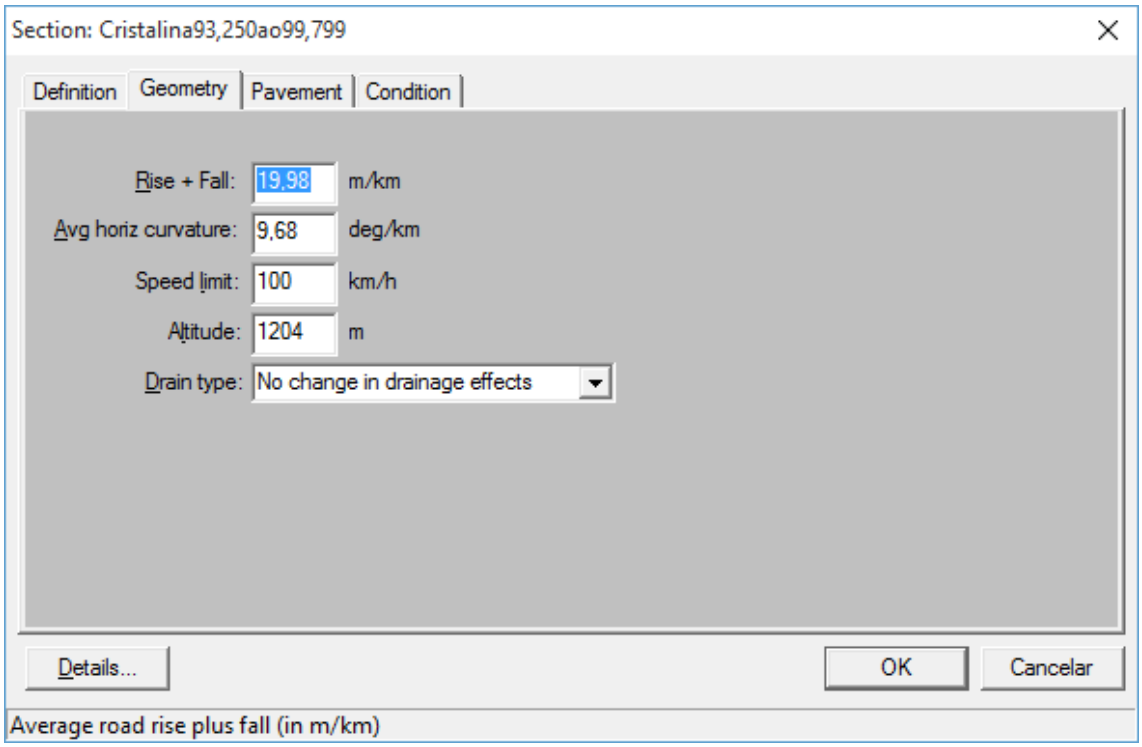


Figura 160 – Montagem de uma Unidade de Amostragem no HDM-4: Geometria.

Tabela 105 – Parâmetros de entrada de Geometria de cada Unidade de Amostragem (UA).

GEOMETRY							
Geometry							
Section ID	Link ID	Rise + Fall	Avg Horiz Curvature	Speed Limit	Altitude	Drain Type	Geometry
SECT_ID	LINK_ID	RF	CURVATURE	SPEED_LIM	ALTITUDE	DRAIN TYPE	Geometry
UA01	UA97,625	19,98	9,68	100,00	1204,00	No change in drainage effects	Mostly Straight and gently undulating
UA02	UA52,065	50,63	16,13	100,00	676,00	No change in drainage effects	Mostly Straight and gently undulating
UA03	UA153,250	65,22	13,94	100,00	870,00	No change in drainage effects	Mostly Straight and gently undulating
UA04	UA260,470	60,10	35,40	100,00	750,00	No change in drainage effects	Mostly Straight and gently undulating
UA05	UA352,550	30,99	13,73	100,00	644,00	No change in drainage effects	Mostly Straight and gently undulating
UA06	UA407,650	30,99	13,73	100,00	676,00	No change in drainage effects	Mostly Straight and gently undulating
UA07	UA574,600	71,89	50,85	70,00	1371,00	No change in drainage effects	Bendy and severely undulating
UA08	UA644,770	28,00	53,33	80,00	1035,00	No change in drainage effects	Bendy and gently undulating
UA09	UA708,650	26,87	106,82	50,00	1119,00	No change in drainage effects	Winding and severely undulating
UA10	UA769,000	26,87	106,82	50,00	716,00	No change in drainage effects	Winding and severely undulating

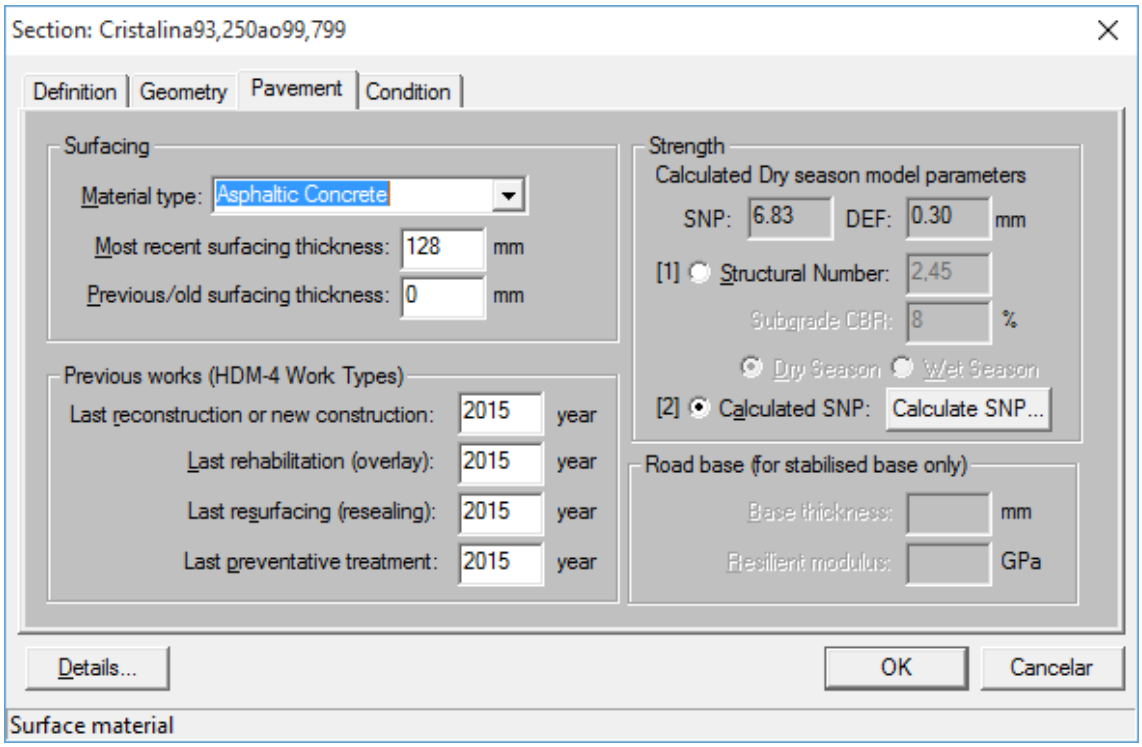


Figura 161 – Montagem de uma Unidade de Amostragem no HDM-4: Pavimento.

Tabela 106 – Parâmetros de entrada de Pavimentação de cada Unidade de Amostragem (UA).

PAVEMENT				
Surfacing				
Section ID	Link ID	Material Type	Most Recent Surfacing Thickness	Previous/Old Recent Surfacing Thickness
SECT_ID	LINK_ID	SURF_MATRL	HSNEW	HSOLD
UA01	UA97,625	Asphaltic Concrete	80,00	0,00
UA02	UA52,065	Asphaltic Concrete	120,00	0,00
UA03	UA153,250	Asphaltic Concrete	100,00	0,00
UA04	UA260,470	Asphaltic Concrete	100,00	0,00
UA05	UA352,550	Asphaltic Concrete	50,00	0,00
UA06	UA407,650	Asphaltic Concrete	80,00	0,00
UA07	UA574,600	Asphaltic Concrete	150,00	0,00
UA08	UA644,770	Asphaltic Concrete	180,00	0,00
UA09	UA708,650	Asphaltic Concrete	150,00	0,00
UA10	UA769,000	Asphaltic Concrete	120,00	0,00

PAVEMENT					
Previous Works					
Section ID	Link ID	Last Reconstruction or New Construction	Last Rehabilitation (Overlay)	Last Resurfacing (Resealing)	Last Preventative Treatment
SECT_ID	LINK_ID	LAST_CONST	LAST_REHAB	LAST_SURF	LAST_PRVNT
UA01	UA97,625	2010	2010	2010	2010
UA02	UA52,065	2010	2010	2010	2010
UA03	UA153,250	2010	2010	2010	2010
UA04	UA260,470	2010	2010	2010	2010
UA05	UA352,550	2010	2010	2010	2010
UA06	UA407,650	2010	2010	2010	2010
UA07	UA574,600	2010	2010	2010	2010
UA08	UA644,770	2010	2010	2010	2010
UA09	UA708,650	2010	2010	2010	2010
UA10	UA769,000	2010	2010	2010	2010

PAVEMENT				
Strength				
Section ID	Link ID	SNP	DEF	DEF
SECT_ID	LINK_ID	SNP	DEF (at 700 kPa)	DEF (FWD)
UA01	UA97,625	5,99	0,37	0,30
UA02	UA52,065	12,86	0,11	0,09
UA03	UA153,250	9,43	0,18	0,15
UA04	UA260,470	7,30	0,27	0,22
UA05	UA352,550	5,15	0,47	0,38
UA06	UA407,650	5,08	0,48	0,39
UA07	UA574,600	5,61	0,41	0,33
UA08	UA644,770	4,32	0,62	0,50
UA09	UA708,650	5,99	0,37	0,30
UA10	UA769,000	12,17	0,12	0,10

No HDM-4 a suficiência estrutural é definida pelo Número Estrutural (SNC). As equações apresentadas a seguir permitem determinar a Deflexão em função do SNC e do tipo de base (cimentada ou não cimentada). Também são apresentadas as equações de volta, que permitem obter o SNC em função da Deflexão Máxima (Do).

- Base não cimentada:

$$SNP = 3{,}2.Do^{-0{,}63} \quad \text{ou} \quad Do = 6{,}5.SNP^{-1{,}6}$$

- Base cimentada:

$$SNP = 3{,}2.Do^{-0{,}63} \quad \text{ou} \quad Do = 6{,}5.SNP^{-1{,}6}$$

Onde Do é a Deflexão Máxima em mm.

No HDM-4 o calculo é realizado automaticamente, bastando informar qual o tipo de equipamento que foi utilizado (FWD ou Viga Benkelman), a época da estação do ano que foi realizado (período seco ou chuvoso) e o valor da deflexão máxima. Na Figura 162 apresentam-se as Telas para transformação de Deflexão em SNC. Na Tela Pavimentação da Figura 161 deve-se clicar na janela "*Calculate SNP...*".

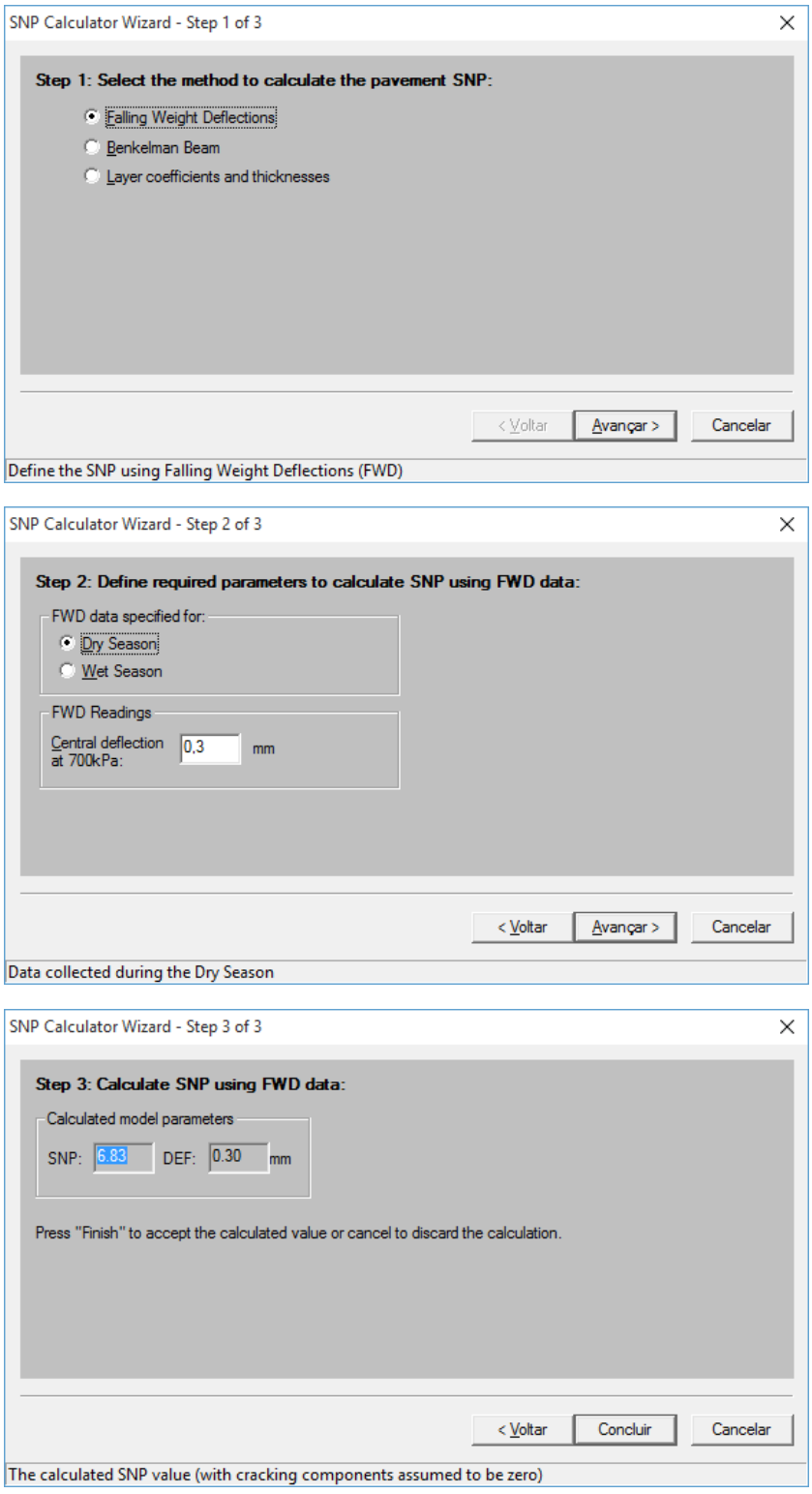


Figura 162 – Determinação do Número Estrutural (SNC) através da Deflexão Máxima obtida pelo equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

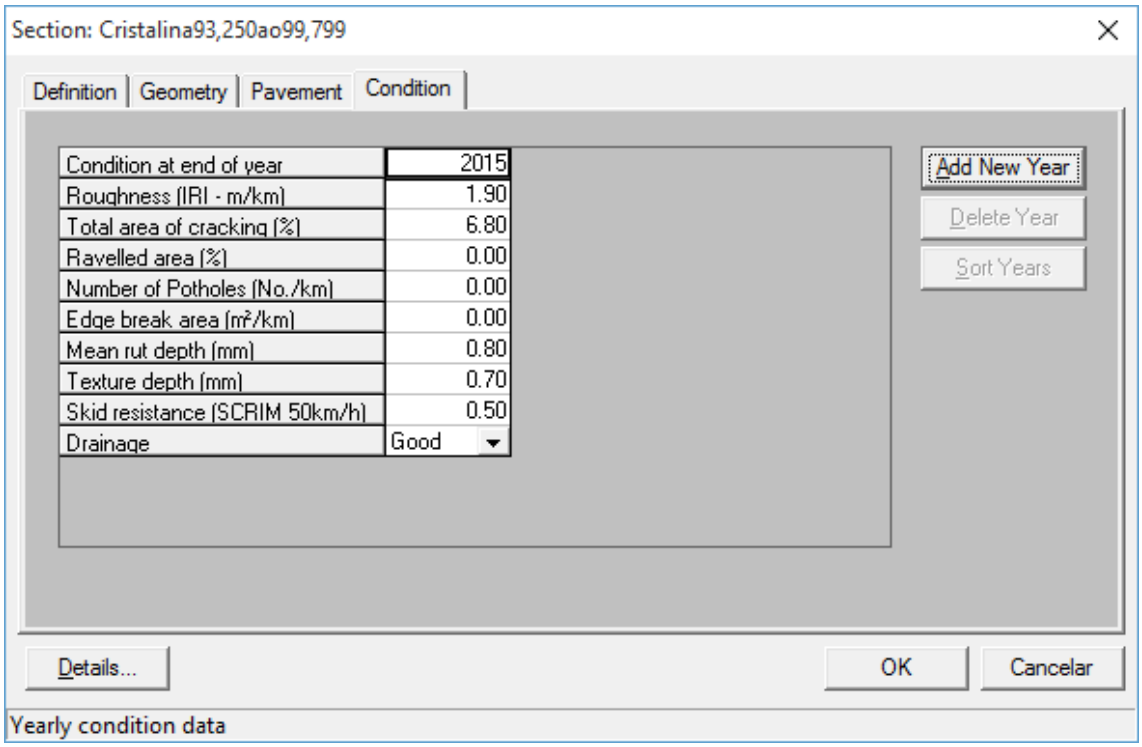


Figura 163 – Montagem de uma Unidade de Amostragem no HDM-4: Condição.

Tabela 107 – Parâmetros de entrada de Condição de cada Unidade de Amostragem (UA).

CONDITION						
Condition						
Section ID	Link ID	Condition at End of Year	Roughness (IRI - m/km)	Total Area of Cracking (%)	Ravelled Area	Number of Potholes (Number/km)
SECT_ID	LINK_ID	COND_YEAR	ROUGHNESS	CRACKS_TOT	RAVEL_AREA	PHOLE_NUM
UA01	UA97,625	2015	1,90	6,80	0,00	0,00
UA02	UA52,065	2015	2,00	5,60	0,00	0,00
UA03	UA153,250	2015	2,00	12,40	0,00	0,00
UA04	UA260,470	2015	2,10	6,90	0,00	0,00
UA05	UA352,550	2015	1,70	9,90	0,00	0,00
UA06	UA407,650	2015	3,30	16,50	0,00	0,00
UA07	UA574,600	2015	1,50	31,70	0,00	0,00
UA08	UA644,770	2015	1,70	11,60	0,00	0,00
UA09	UA708,650	2015	2,60	6,80	0,00	0,00
UA10	UA769,000	2015	2,50	17,60	0,00	0,00

CONDITION							
Condition							
Section ID	Link ID	Edge Break Area (m²/km)	Mean Rut Depth (mm)	Texture Depth (mm)	Pêndulo Britânico	Skid Resistance (SCRIM 50km/h)	Drainage
SECT_ID	LINK_ID	EDGEBREAK	RUT_DEPTH	TEXT_DEPTH	VRD	SKIDRESIST	DRAIN_COND
UA01	UA97,625	0,00	0,80	0,60	65,2	0,62	Bom
UA02	UA52,065	0,00	1,50	0,53	57,84	0,55	Bom
UA03	UA153,250	0,00	3,10	0,74	59,84	0,57	Bom
UA04	UA260,470	0,00	2,80	0,53	66,08	0,63	Bom
UA05	UA352,550	0,00	2,10	0,41	81,72	0,78	Bom
UA06	UA407,650	0,00	2,30	0,86	71,92	0,68	Bom
UA07	UA574,600	0,00	0,60	0,78	74,9	0,71	Ruim
UA08	UA644,770	0,00	0,70	0,56	57,97	0,55	Bom
UA09	UA708,650	0,00	1,70	0,49	55,44	0,53	Bom
UA10	UA769,000	0,00	0,90	0,56	76,92	0,73	Bom

VI.19.11 - POLÍTICA DE MANUTENÇÃO

Para realização das análises no HDM-4 é necessário que se estabeleça uma Política de Manutenção. Foi idealizada uma manutenção básica, cujos serviços contemplam operações de tapa-buracos. Não foi utilizada uma política de manutenção correspondente à serviços de ordem preventiva ou corretiva, tais como aplicação de lama asfáltica, fresagem seguida de camada asfáltica, dentre outras alternativas, que poderiam influenciar os resultados dos cenários de previsão de desempenho dos pavimentos. A manutenção básica afeta pouco evolução da deterioração do pavimento, mas corresponde a uma atividade rotineira de qualquer órgão ou concessão rodoviária.

VI.19.12 – PREVISÃO DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS

Para elaboração dos cenários de previsão de desempenho dos pavimentos das Unidades de Amostragem (UAs) utilizou-se a Análise de Programa do sistema HDM-4. Para efetuar a Análise de Programa foi necessário alimentar o HDM-4 com todos os itens apresentados anteriormente. Após a montagem da Análise de Programa foi gerada a planilha com os principais parâmetros que refletem a deterioração dos pavimentos e foram plotados os gráficos referentes aos parâmetros Deflexão, Trincamento, Irregularidade Longitudinal (IRI), Afundamento em Trilha de Roda (ATR) e Macro e Micro texturas. Com base nos Números Estruturais Corrigidos (SNC) apresentados na Planilha da Condição do Pavimento foram determinadas as Deflexões Máximas (Do) para avaliar a evolução das Deflexões em cada UA ao longo dos anos (período de análise de 10 anos). São apresentados os gráficos referentes às previsões de desempenho das condições funcional, estrutural e de aderência dos pavimentos das UAs ao longo de 10 anos.

- Evolução da Deflexão Máxima (Do);

- Evolução do Trincamento (TR=TR2+TR3);

- Evolução do Trincamento (TR2 e TR) em conjunto com a Evolução da Trinca Classe 3 (TR3);

- Evolução do Afundamento em Trilha de Roda (ATR);

- Evolução da Irregularidade Longitudinal (IRI); e

- Evolução da Macro Textura em conjunto com a Micro Textura.

A plotagem da Deflexão Máxima (Do) em conjunto com os parâmetros que definem as fases elástica e plástica ao longo do tempo de vida dos pavimentos permite que sejam observadas as relações existentes entre o trincamento (fase elástica), ATR (fase plástica) com a Deflexão do pavimento. Buscando observar tais relações entre parâmetros, o IRI também foi plotado em conjunto com os parâmetros funcional (trincamento) e estrutural (deflexão).

- Evolução da Deflexão Máxima (Do) em conjunto com o Trincamento (TR);

- Evolução da Deflexão Máxima (Do) em conjunto com o Afundamento em Triha de Roda (ATR);

- Evolução da Deflexão Máxima (Do) em conjunto com a Irregularidade Longitudinal (IRI); e

- Evolução do Trincamento (TR) em conjunto com a Irregularidade Longitudinal (IRI).

A seguir para cada Unidade de Amostragem (UA) apresenta-se: Planilha da Condição do Pavimento e os 10 (dez) gráficos supracitados, referentes aos desempenhos dos pavimentos em termos de condições funcional e estrutural. Seguida da apresentação dos resultados por UA é elaborada uma análise comparativa dos comportamentos dos pavimentos das Unidades de Amostragem.

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **VIA-040 UA01**
Run Date: **06-05-2016**

Section Details:

ID: UA01
Description: Cristalina93,250ao99,799
Road Class: Primary or Trunk
Length: 6,55km
Width: 3,50m
Rise + Fall: 19,98m/km
Curvature: 9,68deg/km
Alternative: Base Alternative

					Bituminous Pavement														
					End of Year Condition														
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth		
2016	4916	0,56	Before works	AMGB	5,49	2.00	11,19	0,00	0,00	11,19	0,00	0	0,00	358.77	0,97	0,84	0,60	0,62
			After works	AMGB	5,49	2,00	11,19	0,00	0,00	11,19	0,00	0	0,00	358.77	0,97	0,84	0,60	0,62
2017	5088	0,58	Before works	AMGB	5,44	2.11	17,79	0,00	0,00	17,79	0,00	0	0,00	630.00	1,14	0,97	0,60	0,62
			After works	AMGB	5,44	2,11	17,79	0,00	0,00	17,79	0,00	0	0,00	630.00	1,14	0,97	0,60	0,62
2018	5266	0,61	Before works	AMGB	5,35	2.26	28,01	0,00	0,00	28,01	0,00	0	0,00	630.00	1,32	1,12	0,60	0,61
			After works	AMGB	5,35	2,26	28,01	0,00	0,00	28,01	0,00	0	0,00	630.00	1,32	1,12	0,60	0,61
2019	5451	0,63	Before works	AMGB	5,22	2.42	40,83	3,11	0,00	40,83	0,00	0	0,00	630.00	1,51	1,27	0,60	0,61
			After works	AMGB	5,22	2,42	40,83	3,11	0,00	40,83	0,00	0	0,00	630.00	1,51	1,27	0,60	0,61
2020	5642	0,65	Before works	AMGB	5,04	2.62	55,94	9,53	0,00	55,94	0,00	0	0,00	630.00	1,73	1,44	0,60	0,61
			After works	AMGB	5,04	2,62	55,94	9,53	0,00	55,94	0,00	0	0,00	630.00	1,73	1,44	0,60	0,61
2021	5839	0,67	Before works	AMGB	4,82	2.81	69,35	18,87	0,00	69,35	0,00	0	0,00	630.00	1,97	1,62	0,60	0,61
			After works	AMGB	4,82	2,81	69,35	18,87	0,00	69,35	0,00	0	0,00	630.00	1,97	1,62	0,60	0,61
2022	6043	0,69	Before works	AMGB	4,61	2.99	80,15	30,88	0,00	80,15	0,00	0	0,00	630.00	2,24	1,82	0,60	0,61
			After works	AMGB	4,61	2,99	80,15	30,88	0,00	80,15	0,00	0	0,00	630.00	2,24	1,82	0,60	0,61
2023	6255	0,72	Before works	AMGB	4,43	3.53	81,41	44,83	0,00	81,41	0,00	207	0,59	630.00	2,54	2,03	0,60	0,60
			After works	AMGB	4,43	3,31	81,41	44,83	0,00	81,41	0,00	0	0,00	630.00	2,54	2,03	0,60	0,60
2024	6474	0,74	Before works	AMGB	4,41	4.18	81,11	59,70	0,00	81,11	0,00	311	0,89	630.00	2,86	2,25	0,60	0,60
			After works	AMGB	4,41	3,86	81,11	59,70	0,00	81,11	0,00	0	0,00	630.00	2,86	2,25	0,60	0,60

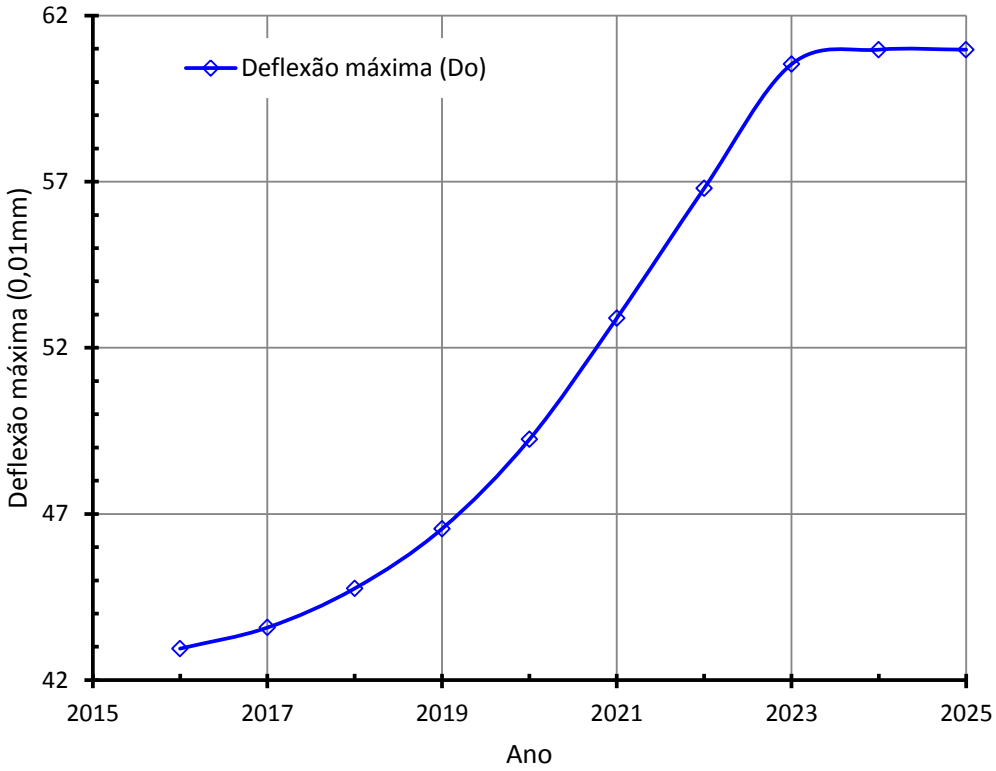


Figura UA01.1 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento da UA01 (deflexão máxima).

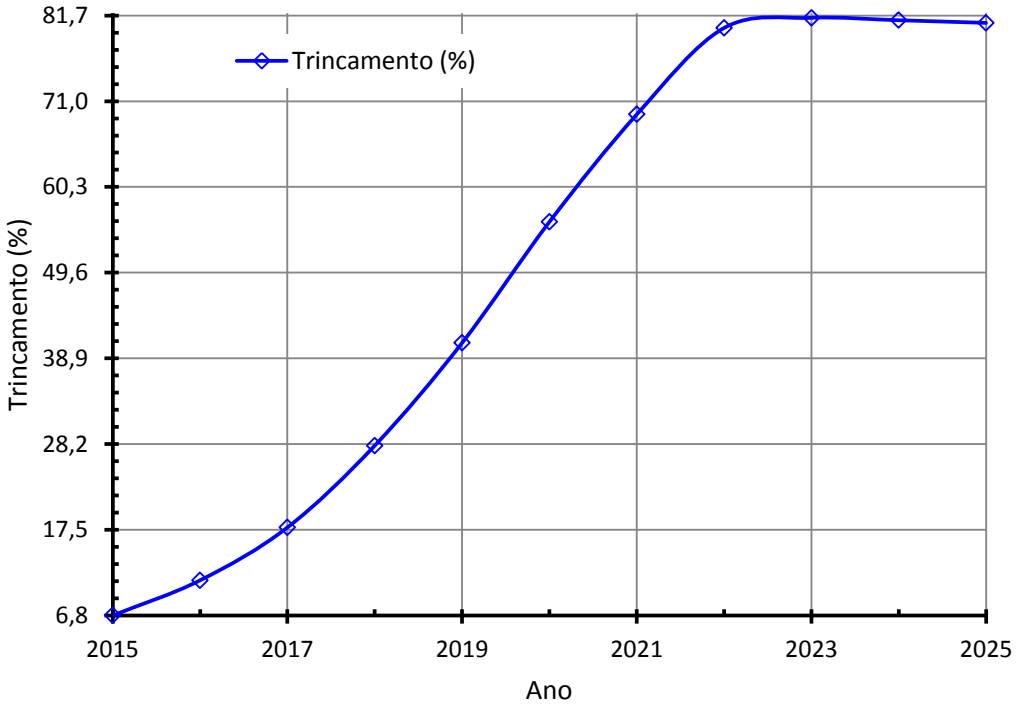


Figura UA01.2 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA01 (trincamento).

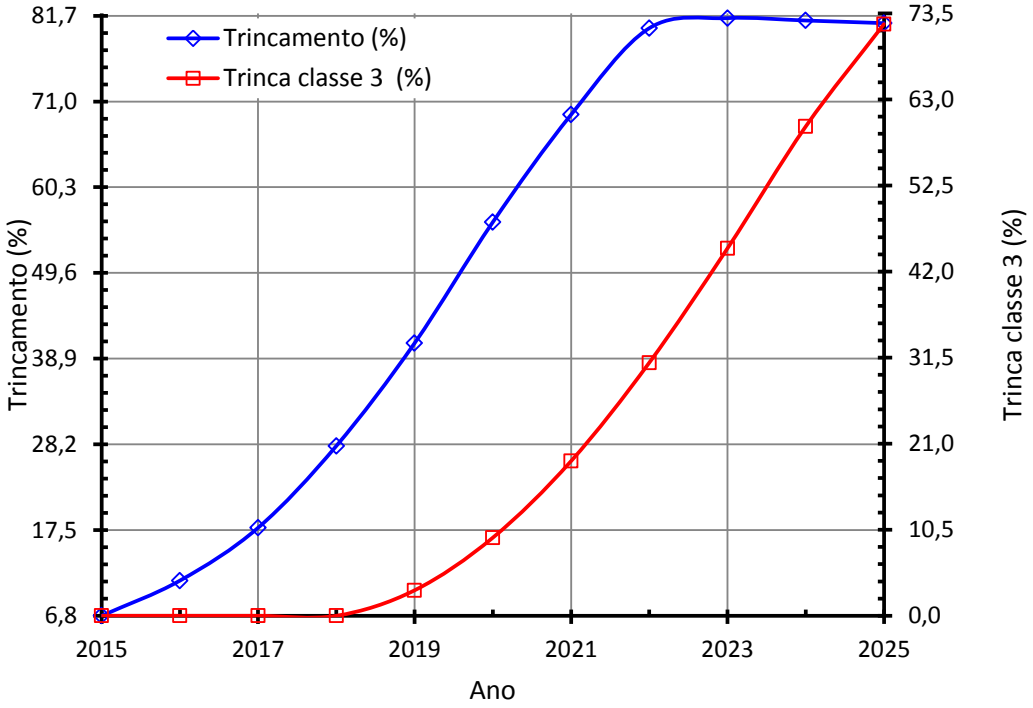


Figura UA01.3 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA01 (trincamento e trinca classe 3).

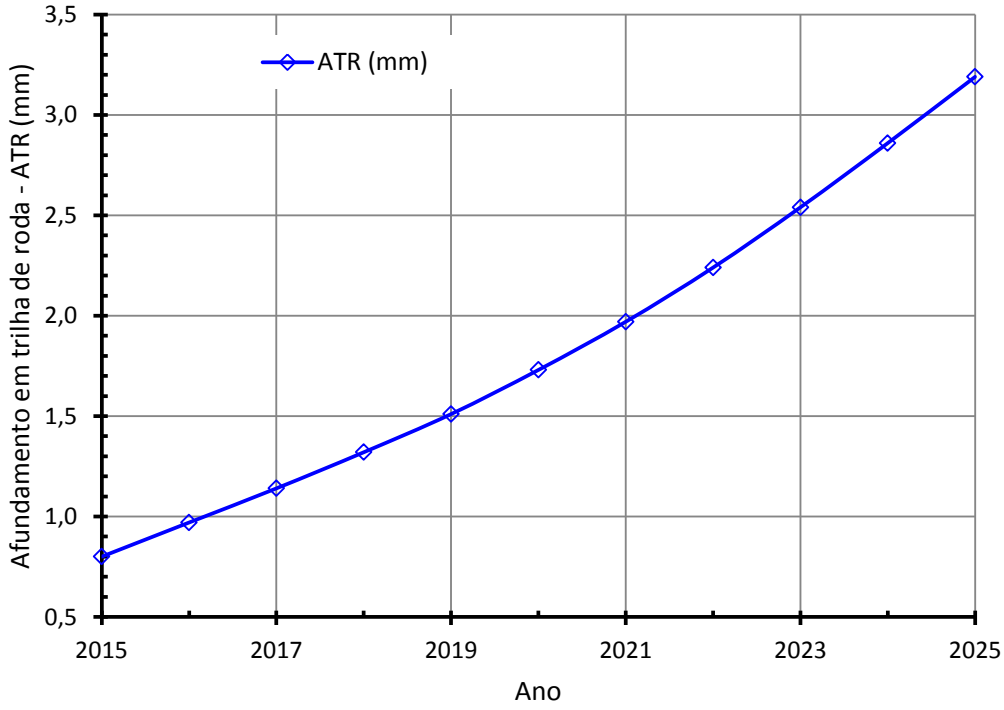


Figura UA01.4 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento da UA01 (afundamento em trilhas de roda ATR).

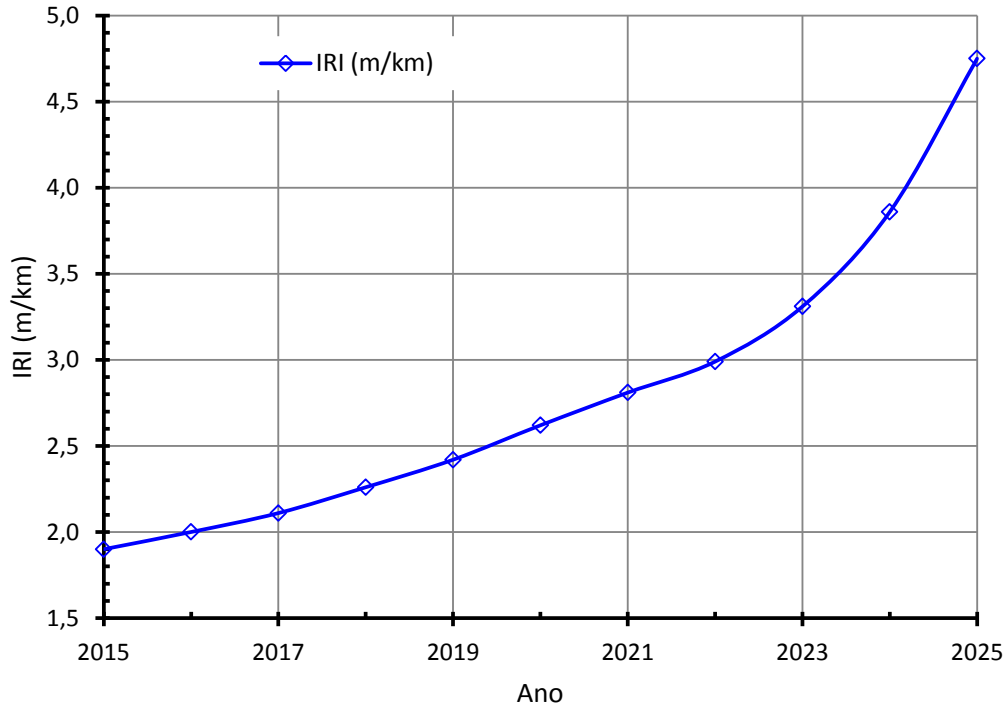


Figura UA01.5 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA01 (irregularidade longitudinal IRI).

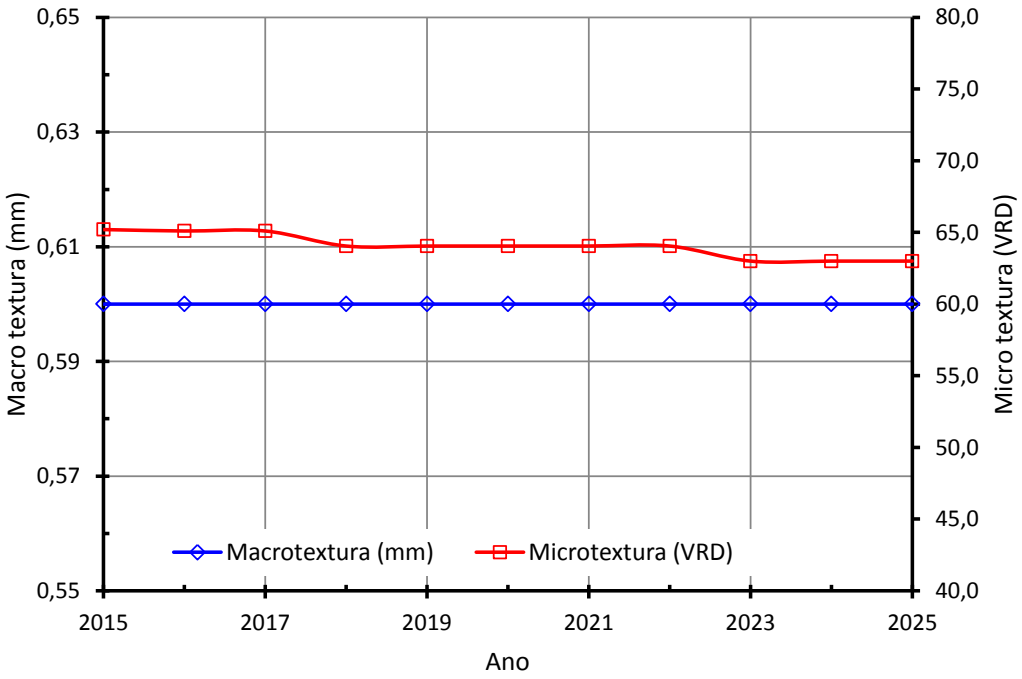


Figura UA01.6 – Curvas de previsão de desempenho da condição de aderência do pavimento da UA01 (macro e micro texturas).

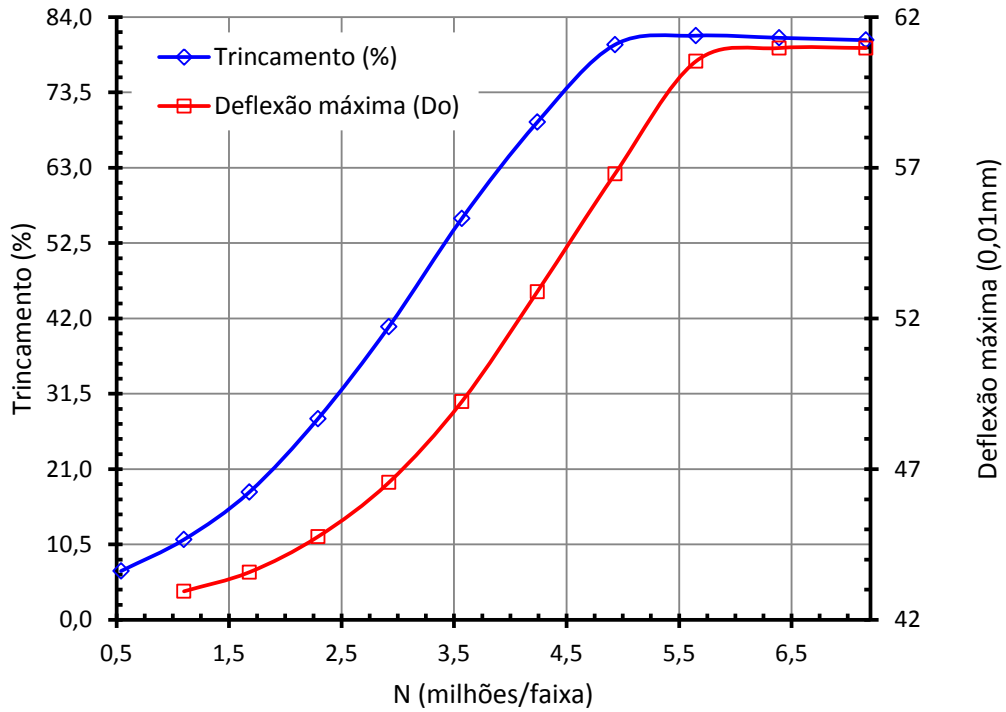


Figura UA01.7 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA01 (deflexão máxima e trincamento).

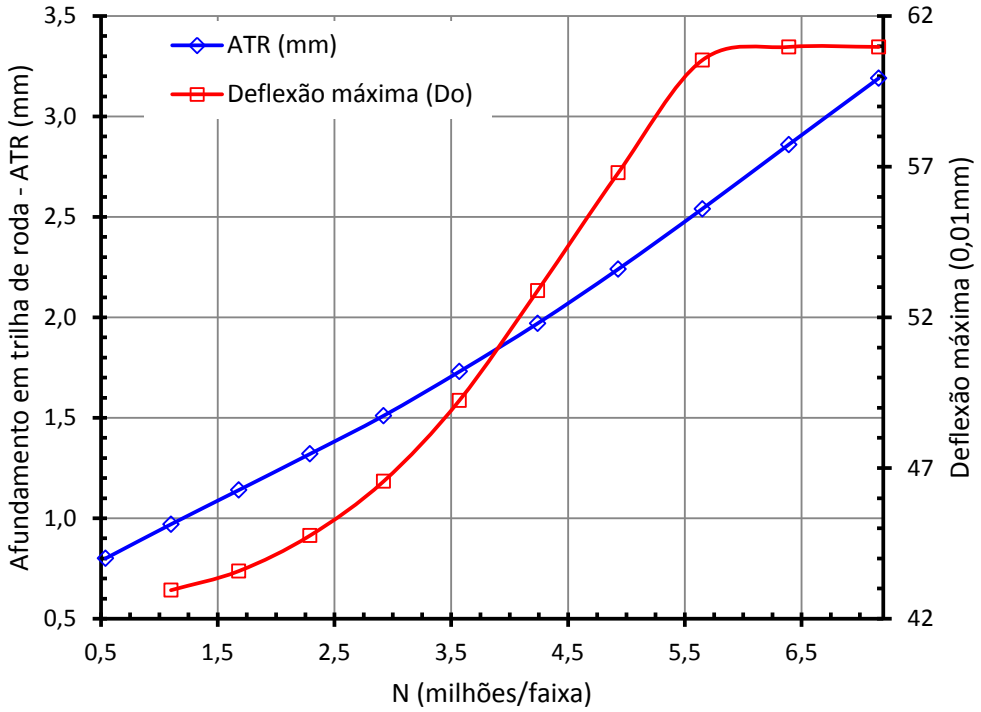


Figura UA01.8 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA01 (deflexão máxima e afundamento em trilhas de roda ATR).

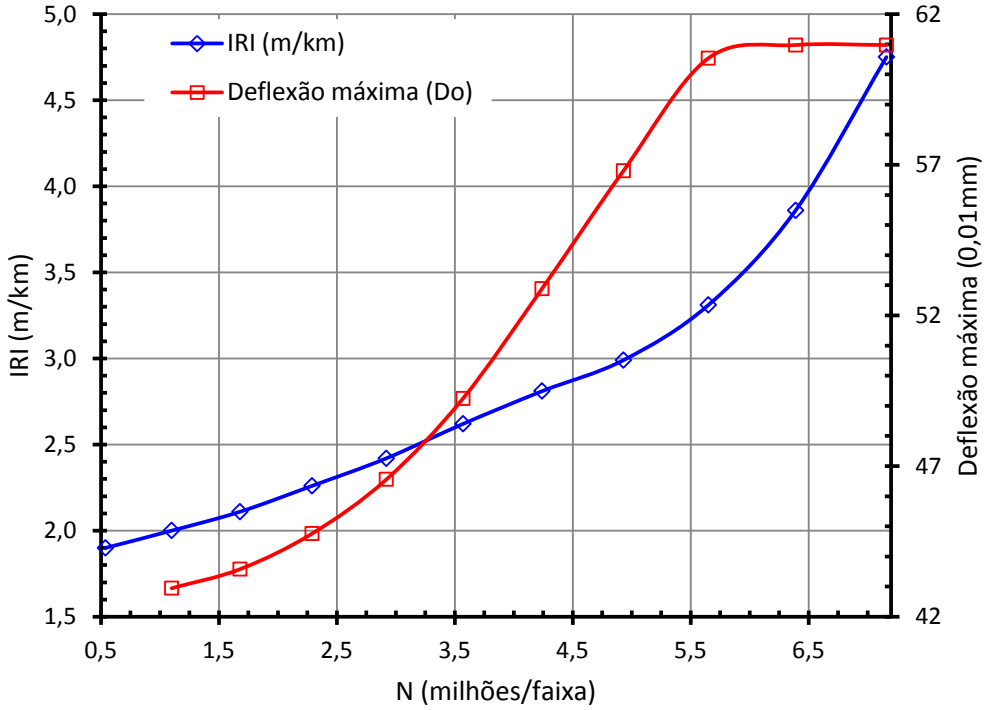


Figura UA01.9 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA01 (deflexão máxima e irregularidade longitudinal IRI).

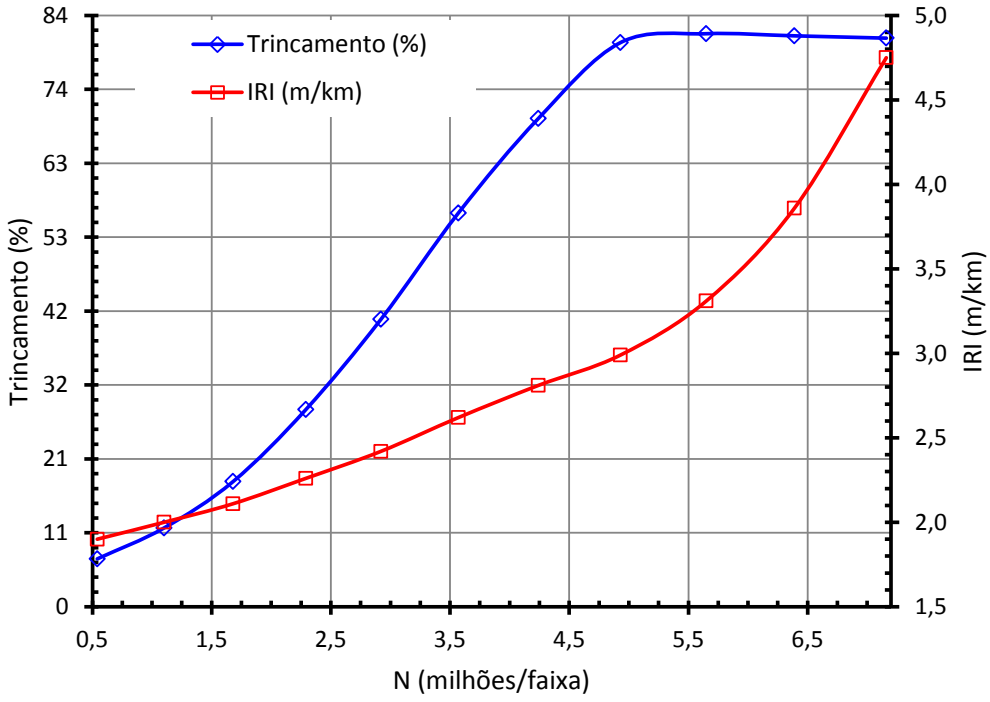


Figura UA01.10 – Curvas de previsão de desempenho das condições funcionais do pavimento da UA01 (trincamento e irregularidade longitudinal IRI).

HDM-4 Pavement Condition (Bituminous Pavements)

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Study Name: **VIA-040 UA02**
Run Date: **06-05-2016**

Section Details:

ID: UA02 | Description: Paracatu51,600ac54300 | Road Class: Primary or Trunk
Length: 2,70km | Width: 3,50m | Rise + Fall: 50,63m/km | Curvature: 16,13deg/km
Alternative: Base Alternative

					Bituminous Pavement														
					End of Year Condition														
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth		
2016	1978	0,47	Before works	AMGB	11,83	2.09	11,15	0,00	0,00	11,15	0,00	0	0,00	58.07	1,57	1,31	0,53	0,55
			After works	AMGB	11,83	2,09	11,15	0,00	0,00	11,15	0,00	0	0,00	58.07	1,57	1,31	0,53	0,55
2017	2047	0,49	Before works	AMGB	11,69	2.20	18,62	0,00	0,00	18,62	0,00	0	0,00	175.97	1,64	1,37	0,53	0,55
			After works	AMGB	11,69	2,20	18,62	0,00	0,00	18,62	0,00	0	0,00	175.97	1,64	1,37	0,53	0,55
2018	2119	0,51	Before works	AMGB	11,50	2.33	28,35	0,00	0,00	28,35	0,00	0	0,00	302.80	1,72	1,43	0,53	0,55
			After works	AMGB	11,50	2,33	28,35	0,00	0,00	28,35	0,00	0	0,00	302.80	1,72	1,43	0,53	0,55
2019	2193	0,53	Before works	AMGB	11,25	2.47	40,46	0,00	0,00	40,46	0,00	0	0,00	439.29	1,80	1,49	0,53	0,55
			After works	AMGB	11,25	2,47	40,46	0,00	0,00	40,46	0,00	0	0,00	439.29	1,80	1,49	0,53	0,55
2020	2270	0,54	Before works	AMGB	10,94	2.63	54,71	0,00	0,00	54,71	0,00	0	0,00	586.18	1,89	1,56	0,53	0,54
			After works	AMGB	10,94	2,63	54,71	0,00	0,00	54,71	0,00	0	0,00	586.18	1,89	1,56	0,53	0,54
2021	2349	0,56	Before works	AMGB	10,55	2.80	68,09	0,00	0,00	68,09	0,00	0	0,00	630.00	1,99	1,63	0,53	0,54
			After works	AMGB	10,55	2,80	68,09	0,00	0,00	68,09	0,00	0	0,00	630.00	1,99	1,63	0,53	0,54
2022	2431	0,58	Before works	AMGB	10,19	2.95	79,15	0,00	0,00	79,15	0,00	0	0,00	630.00	2,10	1,71	0,53	0,54
			After works	AMGB	10,19	2,95	79,15	0,00	0,00	79,15	0,00	0	0,00	630.00	2,10	1,71	0,53	0,54
2023	2516	0,60	Before works	AMGB	9,88	3.05	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	2,23	1,81	0,53	0,54
			After works	AMGB	9,88	3,05	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	2,23	1,81	0,53	0,54
2024	2605	0,62	Before works	AMGB	9,80	3.14	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	2,35	1,89	0,53	0,54
			After works	AMGB	9,80	3,14	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	2,35	1,89	0,53	0,54

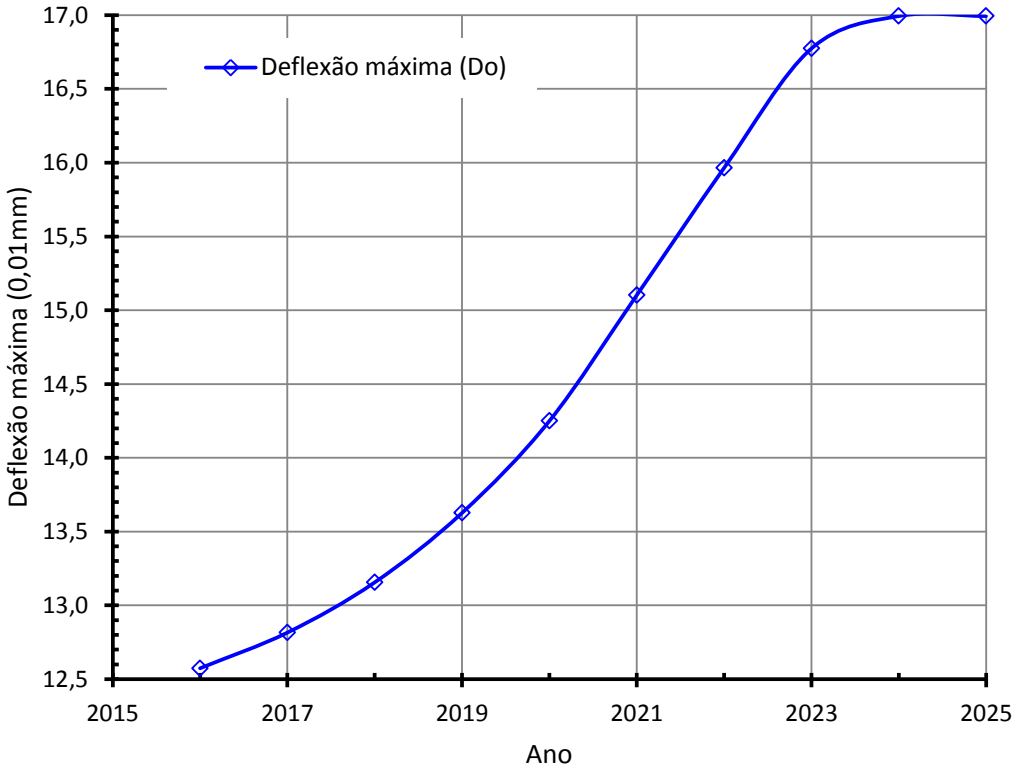


Figura UA02.1 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento da UA02 (deflexão máxima).

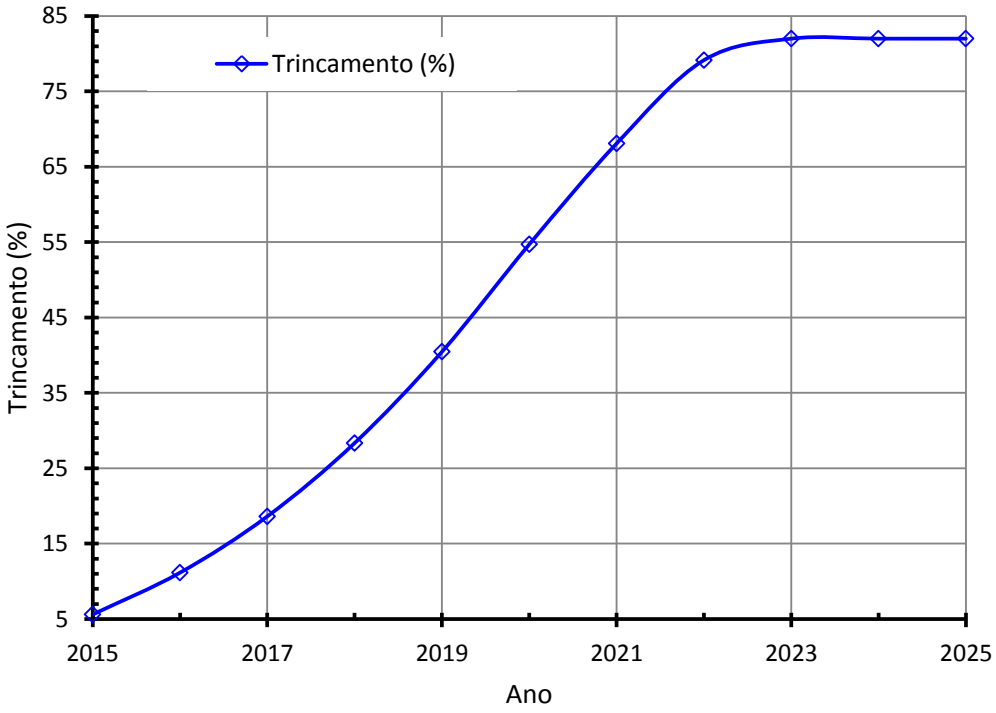


Figura UA02.2 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA02 (trincamento).

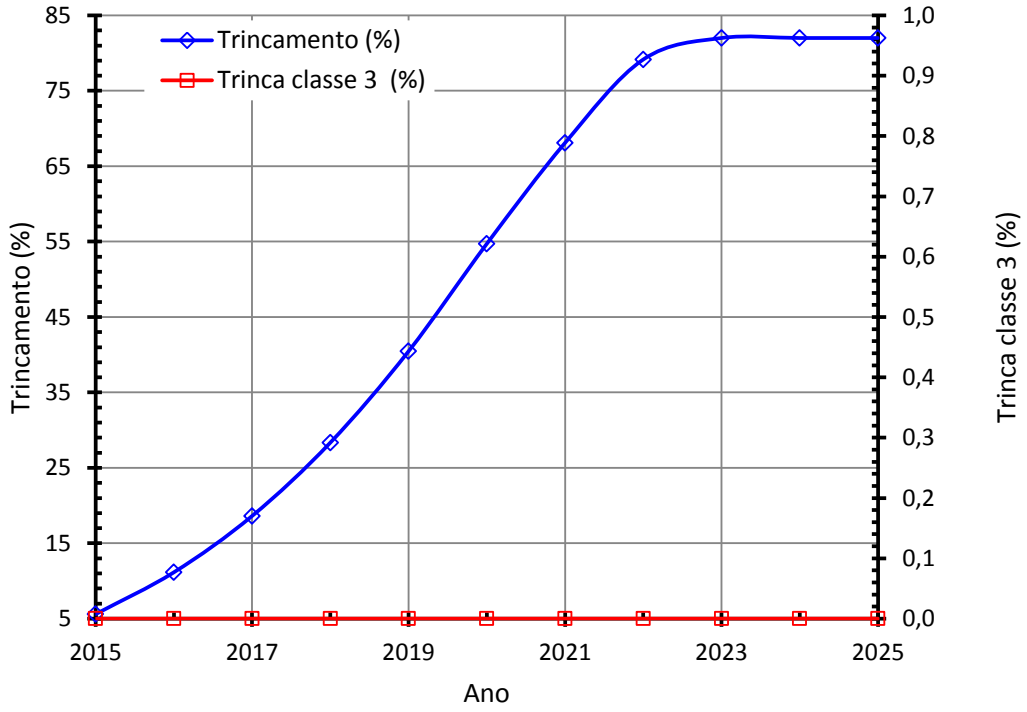


Figura UA02.3 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA02 (trincamento e trinca classe 3).

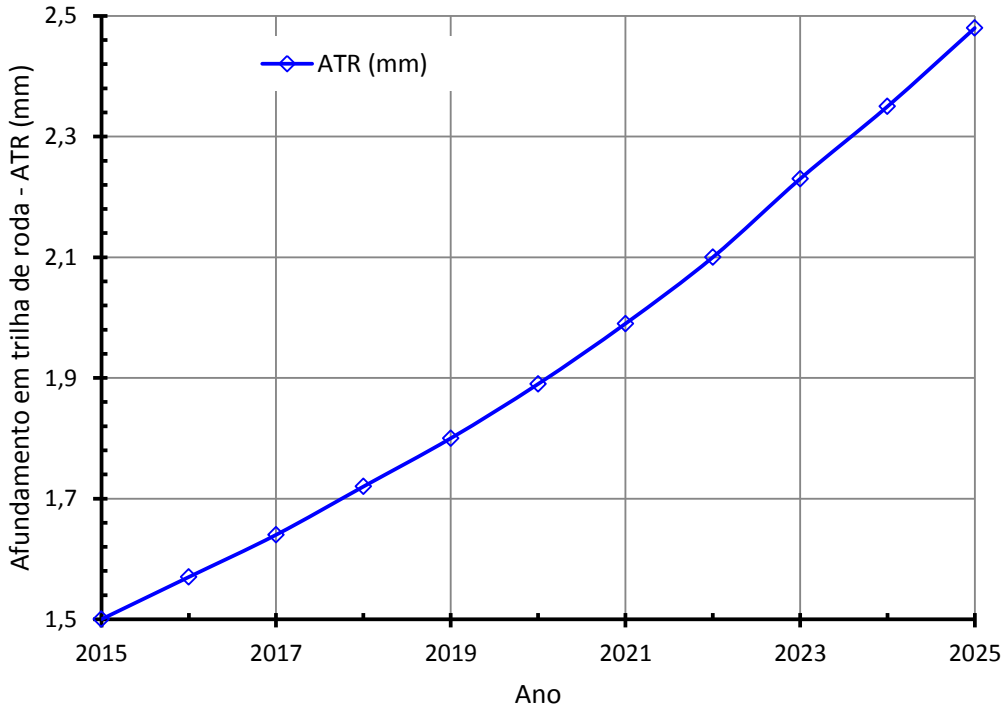


Figura UA02.4 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento da UA02 (afundamento em trilhas de roda ATR).

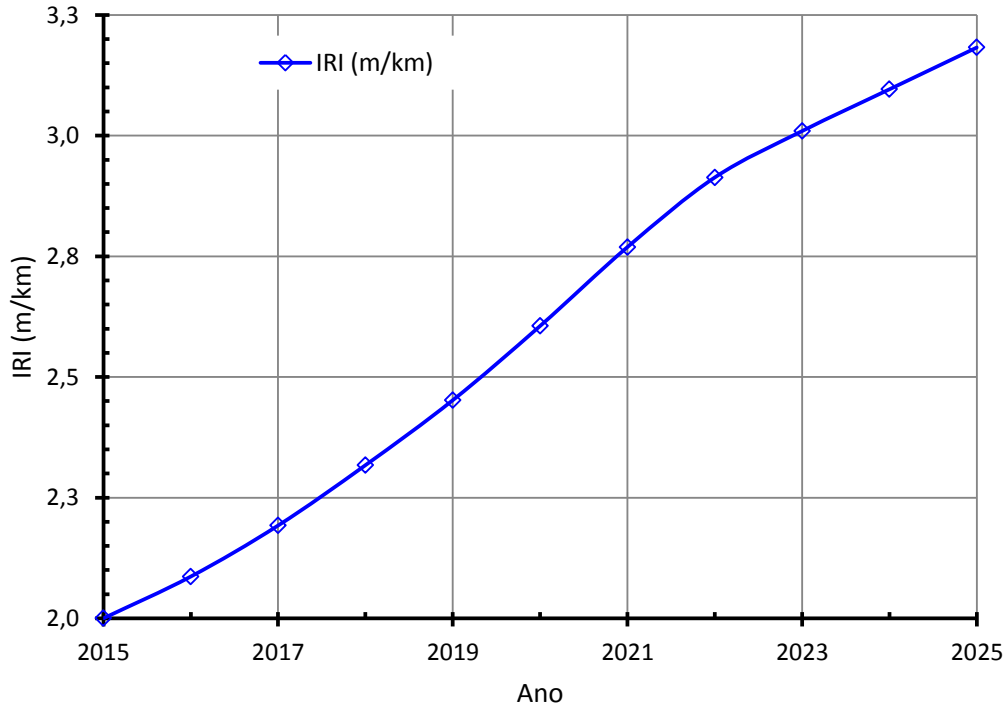


Figura UA02.5 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA02 (irregularidade longitudinal IRI).

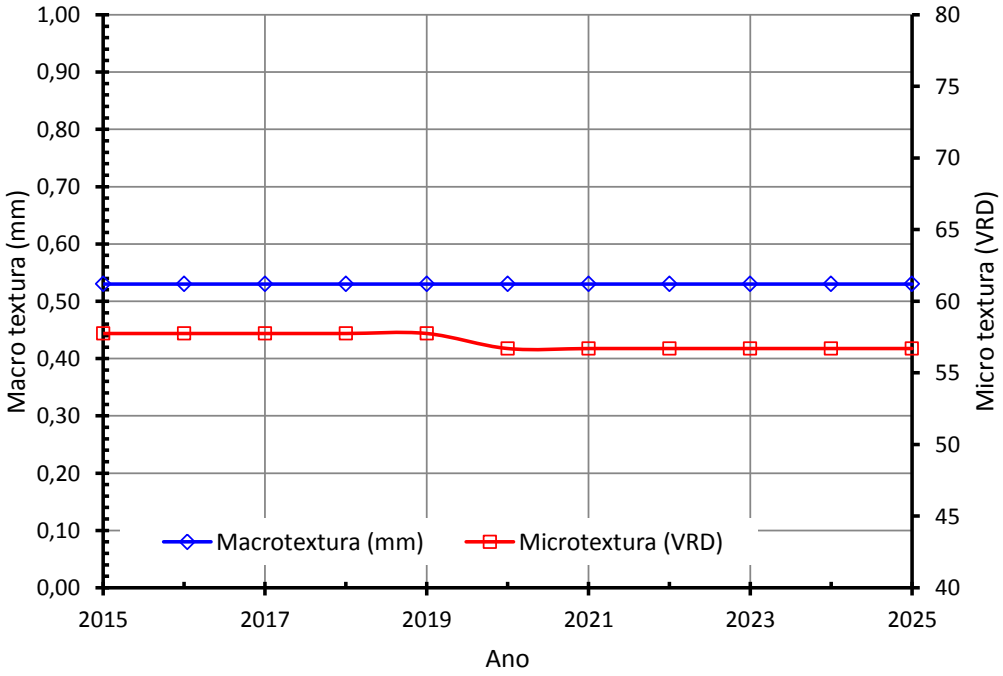


Figura UA02.6 – Curvas de previsão de desempenho da condição de aderência do pavimento da UA02 (macro e micro texturas).

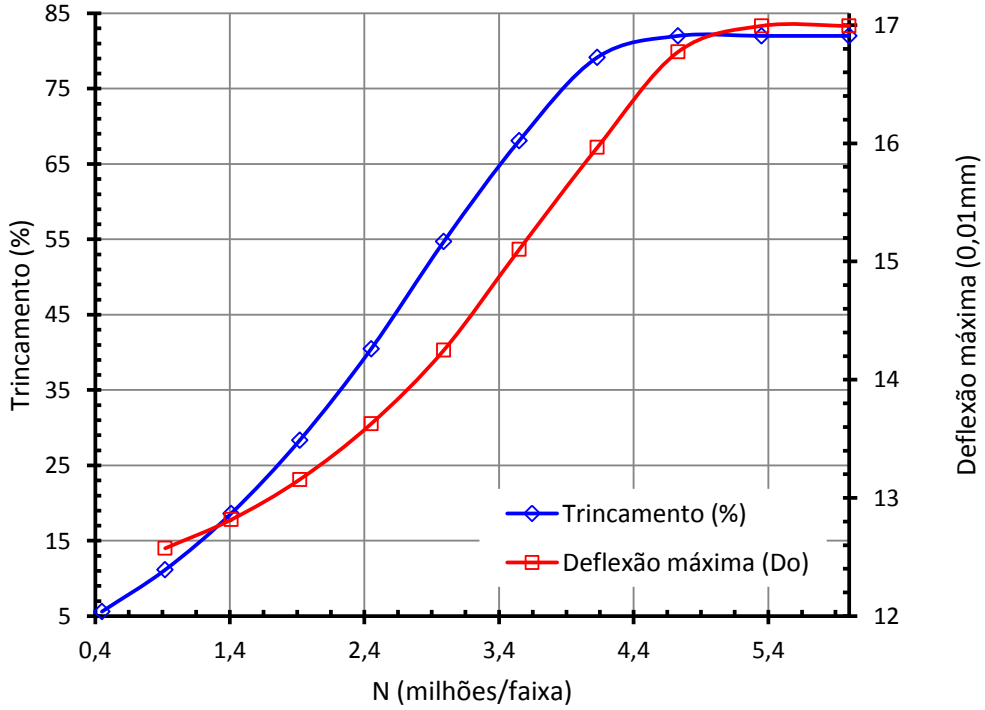


Figura UA02.7 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA02 (deflexão máxima e trincamento).

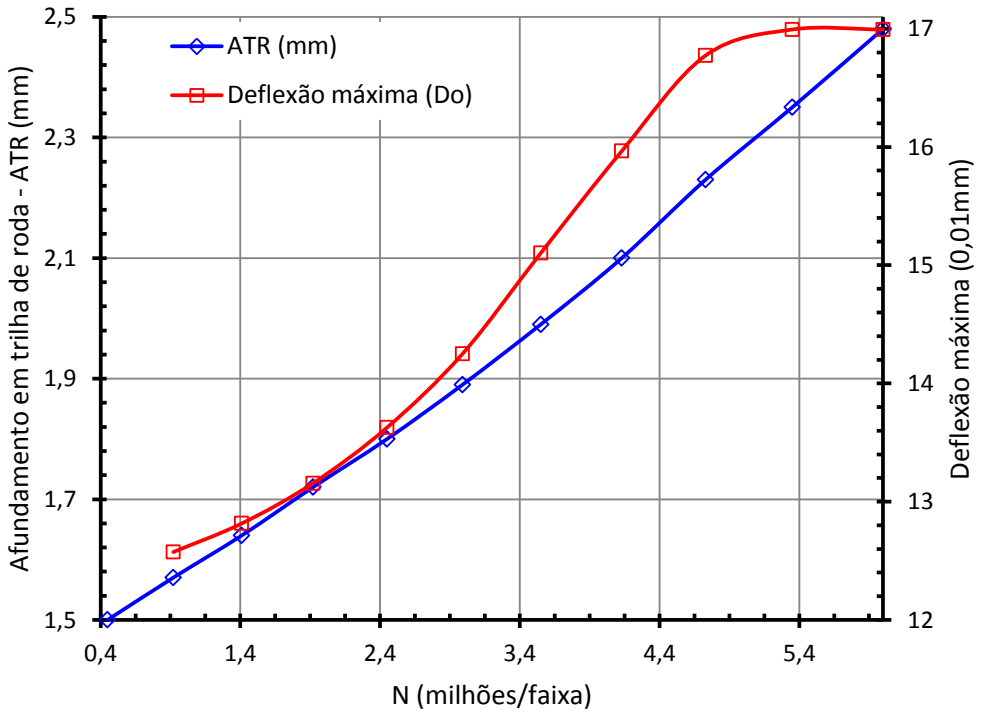


Figura UA02.8 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA02 (deflexão máxima e afundamento em trilhas de roda ATR).

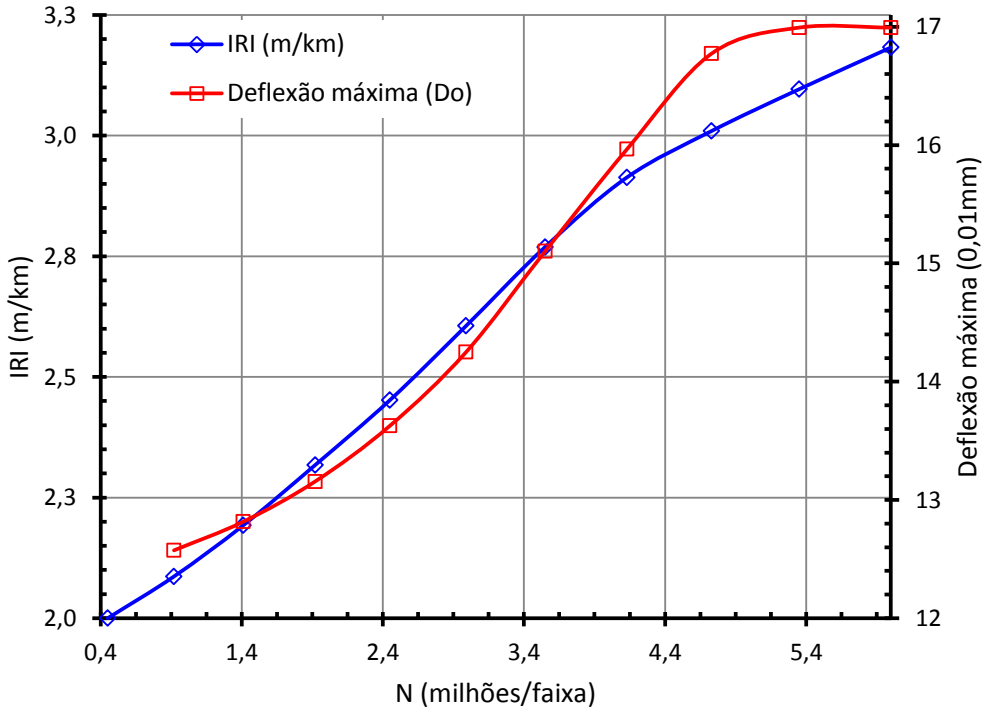


Figura UA02.9 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA02 (deflexão máxima e irregularidade longitudinal IRI).

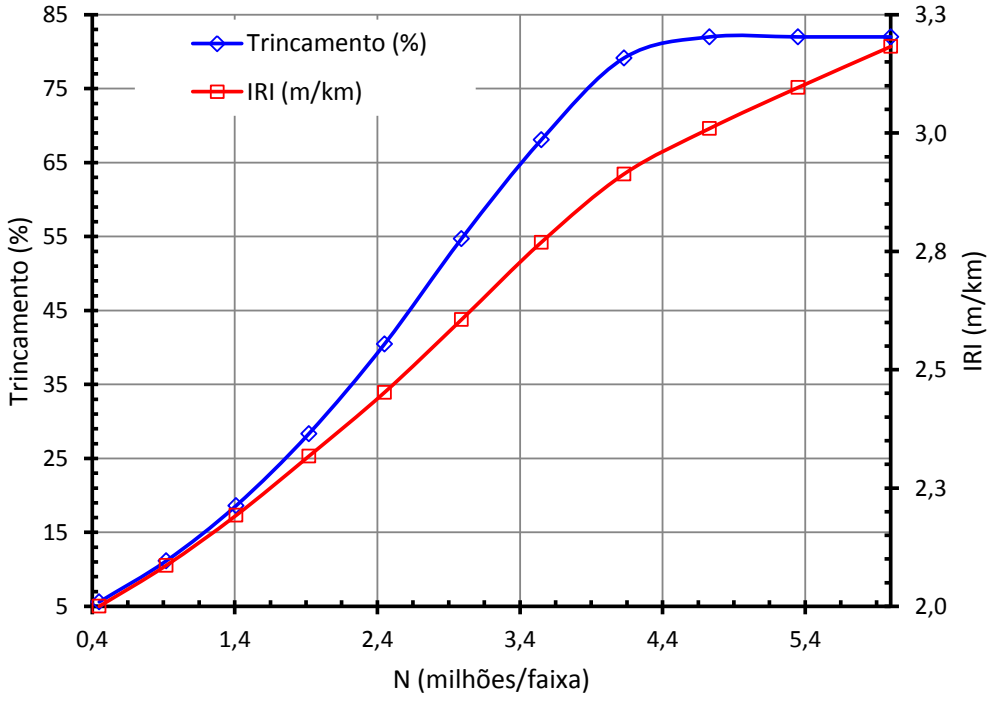


Figura UA02.10 – Curvas de previsão de desempenho das condições funcionais do pavimento da UA02 (trincamento e irregularidade longitudinal IRI).

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **VIA-040 UA03**
Run Date: **06-05-2016**

Section Details:

ID: UA03
Description: JoaoPinheiro148,980ao155,250
Road Class: Primary or Trunk
Length: 6,27km
Width: 3,50m
Rise + Fall: 65,22m/km
Curvature: 13,94deg/km
Alternative: Base Alternative

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm) RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2016	1692	0,30	Before works	AMGB	8,55	2.11	20,73	0,00	0,00	20,73	0,00	0	0,00	42.51	3,20	2,47	0,68	0,57
			After works	AMGB	8,55	2,11	20,73	0,00	0,00	20,73	0,00	0	0,00	42.51	3,20	2,47	0,68	0,57
2017	1751	0,31	Before works	AMGB	8,39	2.24	31,22	0,00	0,00	31,22	0,00	0	0,00	135.10	3,30	2,53	0,68	0,57
			After works	AMGB	8,39	2,24	31,22	0,00	0,00	31,22	0,00	0	0,00	135.10	3,30	2,53	0,68	0,57
2018	1813	0,32	Before works	AMGB	8,19	2.40	44,20	0,00	0,00	44,20	0,00	0	0,00	234.65	3,41	2,60	0,68	0,57
			After works	AMGB	8,19	2,40	44,20	0,00	0,00	44,20	0,00	0	0,00	234.65	3,41	2,60	0,68	0,57
2019	1876	0,33	Before works	AMGB	7,93	2.56	58,68	0,00	0,00	58,68	0,00	0	0,00	341.69	3,53	2,68	0,68	0,57
			After works	AMGB	7,93	2,56	58,68	0,00	0,00	58,68	0,00	0	0,00	341.69	3,53	2,68	0,68	0,57
2020	1942	0,34	Before works	AMGB	7,63	2.72	70,94	0,00	0,00	70,94	0,00	0	0,00	456.81	3,67	2,76	0,67	0,57
			After works	AMGB	7,63	2,72	70,94	0,00	0,00	70,94	0,00	0	0,00	456.81	3,67	2,76	0,67	0,57
2021	2010	0,35	Before works	AMGB	7,38	2.86	80,68	0,00	0,00	80,68	0,00	0	0,00	580.62	3,82	2,85	0,67	0,56
			After works	AMGB	7,38	2,86	80,68	0,00	0,00	80,68	0,00	0	0,00	580.62	3,82	2,85	0,67	0,56
2022	2080	0,37	Before works	AMGB	7,18	2.96	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	3,98	2,95	0,67	0,56
			After works	AMGB	7,18	2,96	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	3,98	2,95	0,67	0,56
2023	2153	0,38	Before works	AMGB	7,15	3.05	82,00	0,79	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	4,14	3,04	0,67	0,56
			After works	AMGB	7,15	3,05	82,00	0,79	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	4,14	3,04	0,67	0,56
2024	2228	0,39	Before works	AMGB	7,15	3.14	82,00	5,21	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	4,31	3,14	0,67	0,56
			After works	AMGB	7,15	3,14	82,00	5,21	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	4,31	3,14	0,67	0,56

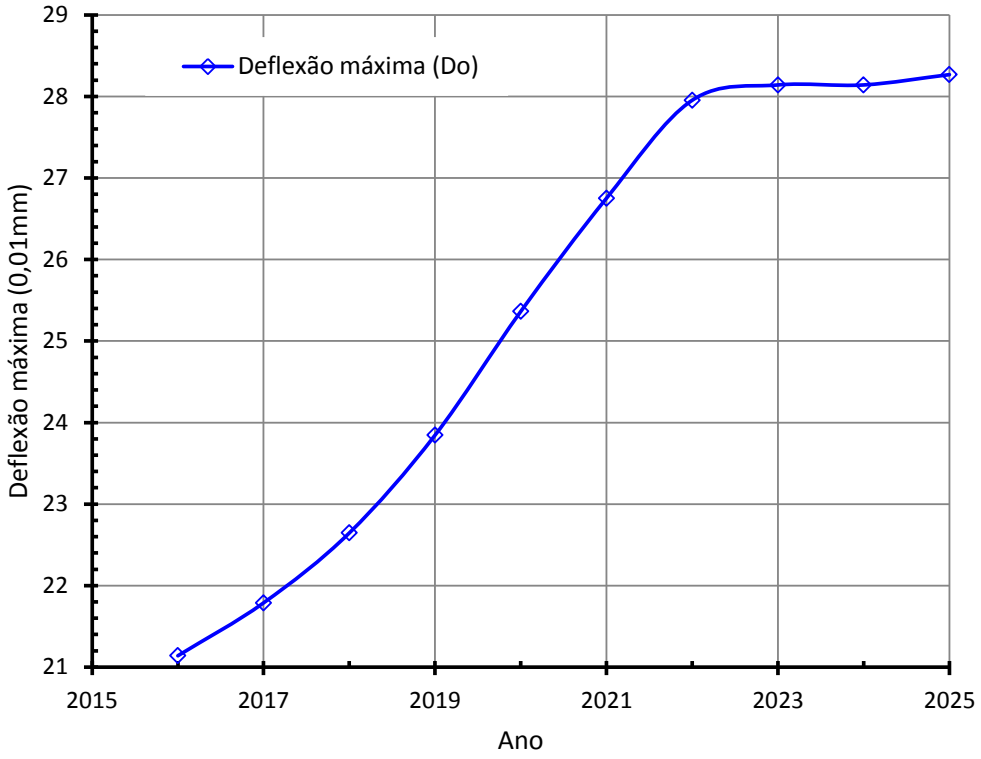


Figura UA03.1 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento da UA03 (deflexão máxima).

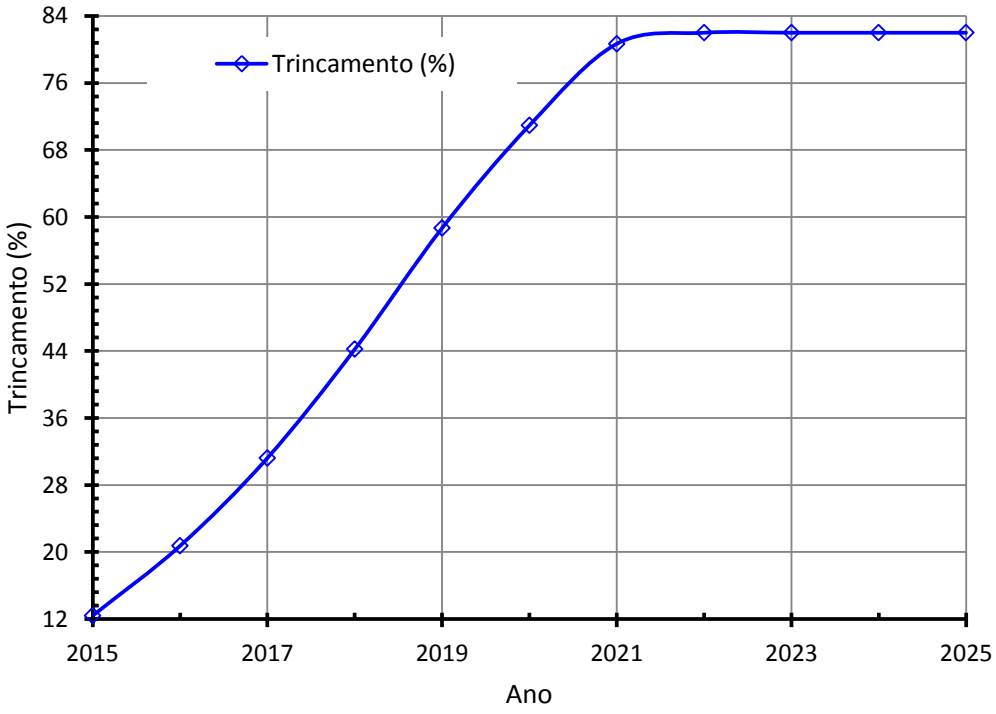


Figura UA03.2 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA03 (trincamento).

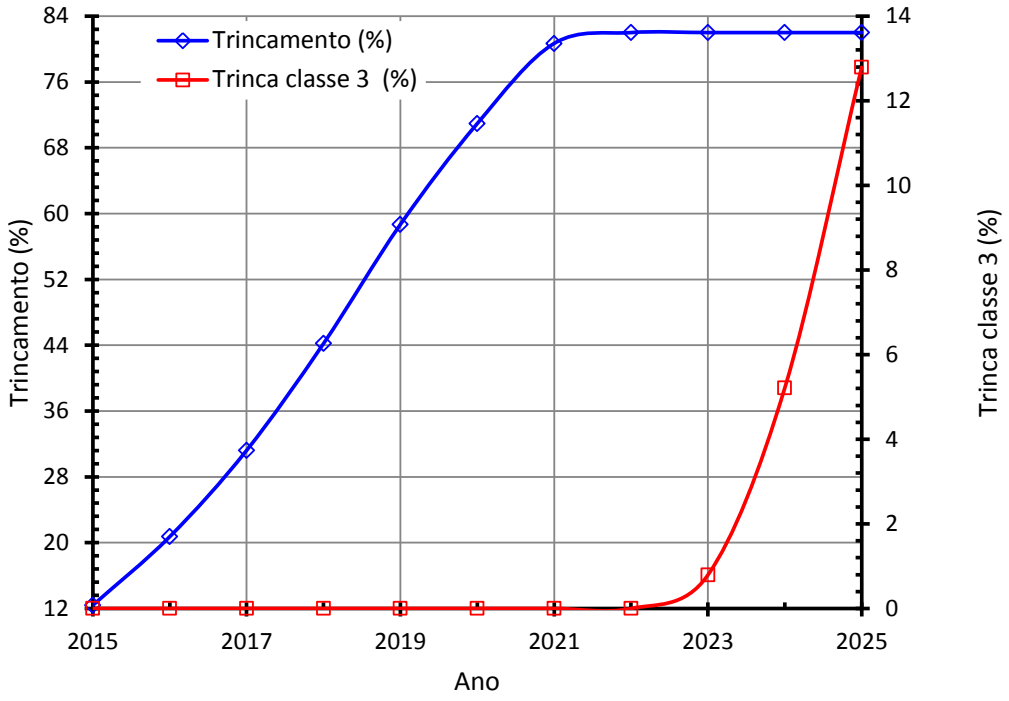


Figura UA03.3 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA03 (trincamento e trinca classe 3).

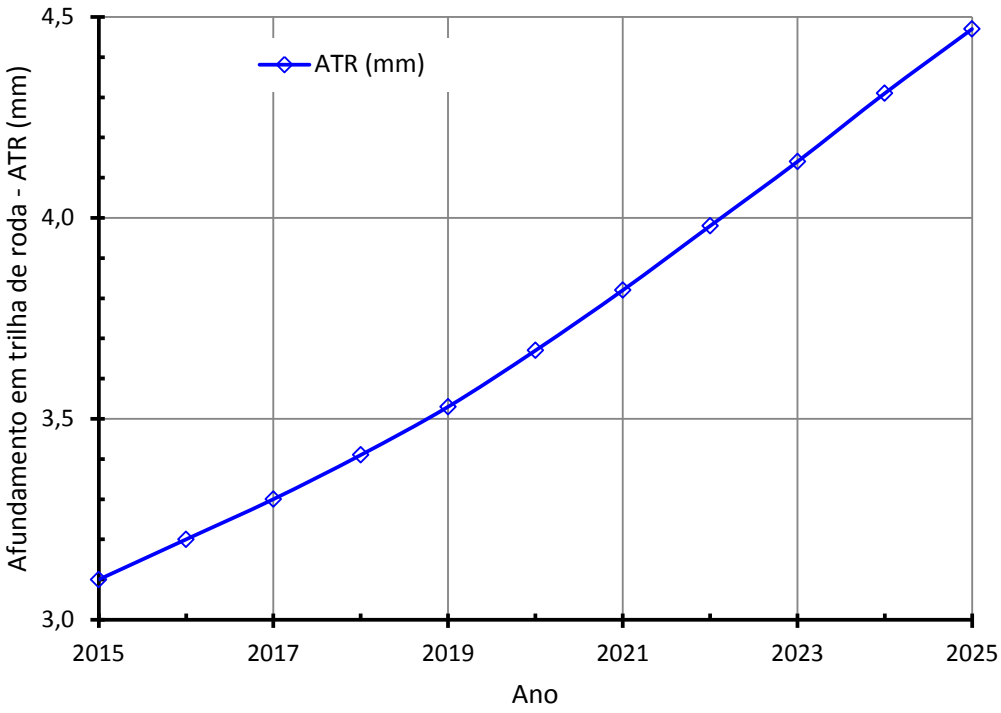


Figura UA03.4 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento da UA03 (afundamento em trilhas de roda ATR).

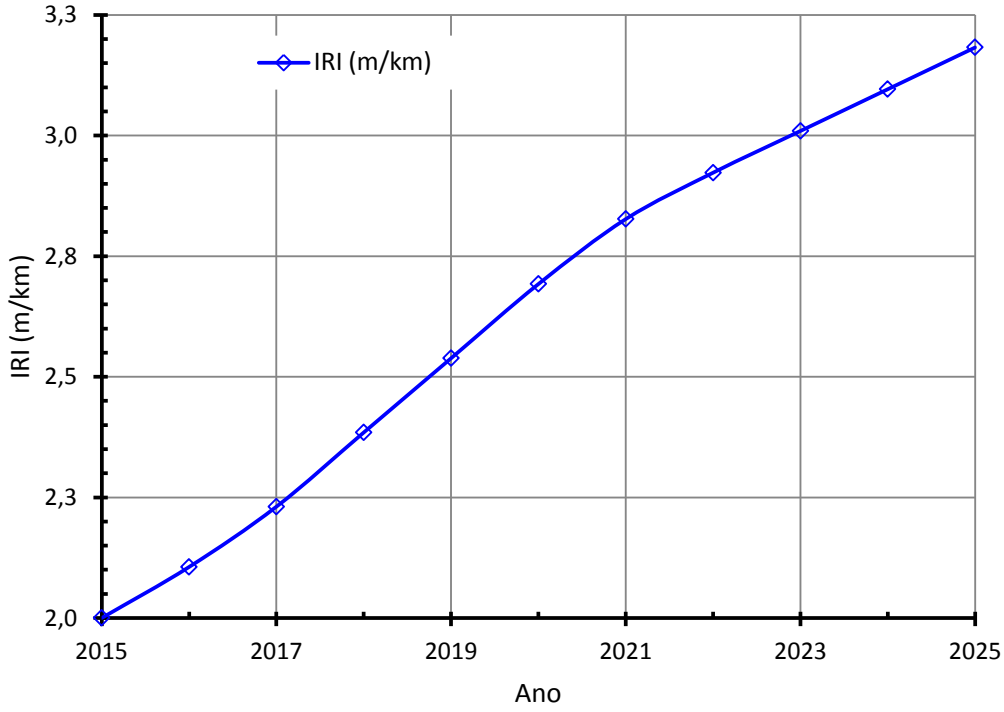


Figura UA03.5 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA03 (irregularidade longitudinal IRI).

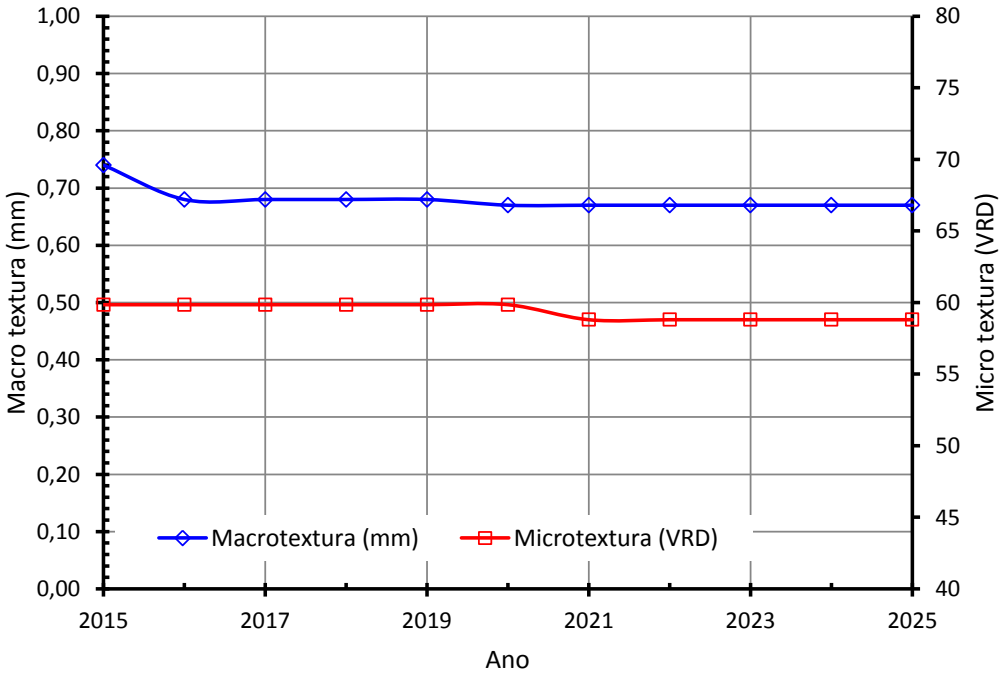


Figura UA03.6 – Curvas de previsão de desempenho da condição de aderência do pavimento da UA03 (macro e micro texturas).

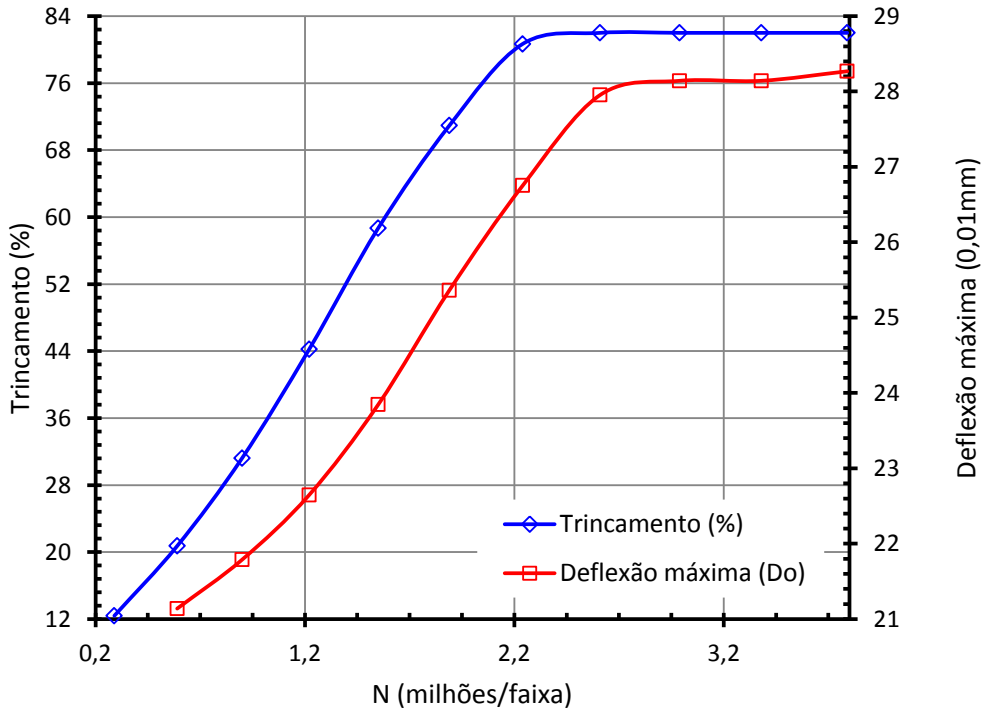


Figura UA03.7 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA03 (deflexão máxima e trincamento).

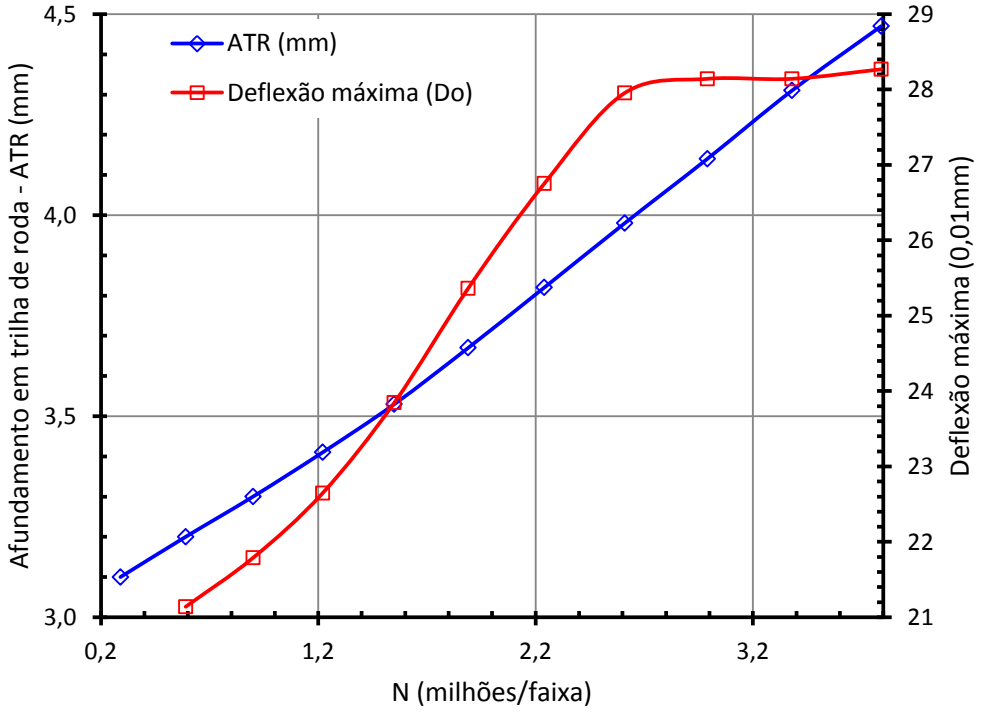


Figura UA03.8 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA03 (deflexão máxima e afundamento em trilhas de roda ATR).

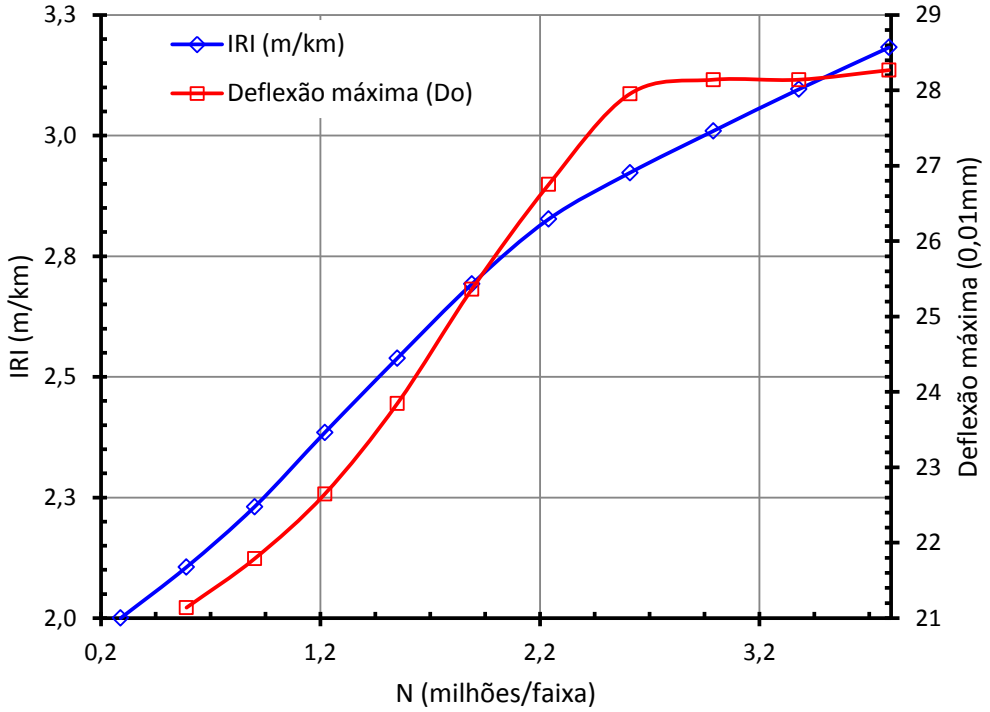


Figura UA03.9 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA03 (deflexão máxima e irregularidade longitudinal IRI).

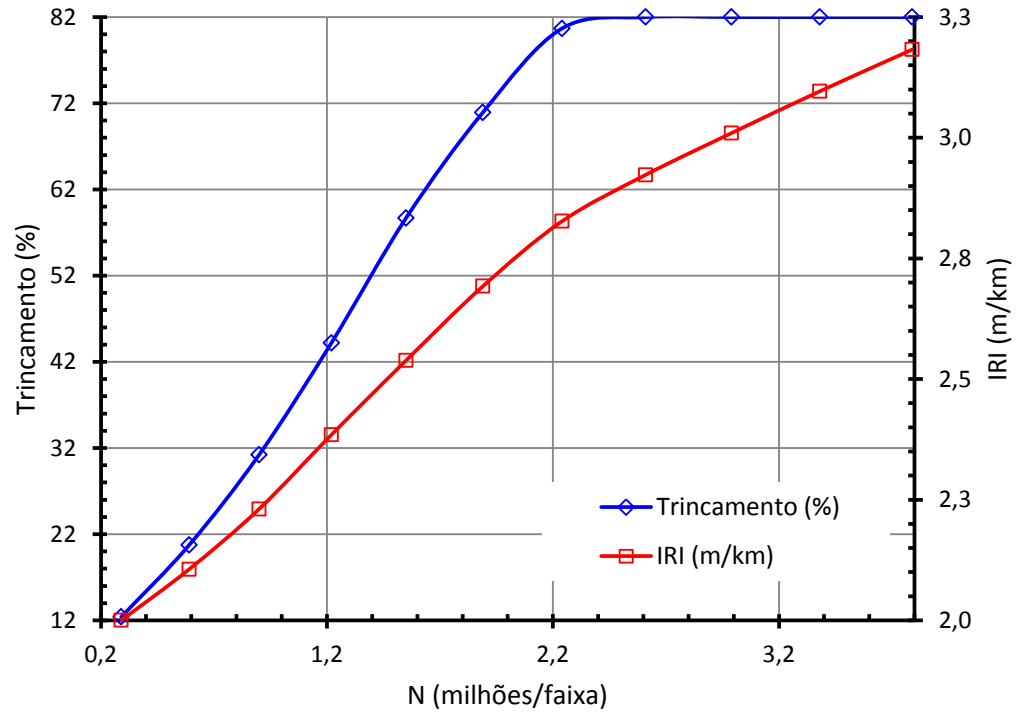


Figura UA03.10 – Curvas de previsão de desempenho das condições funcionais do pavimento da UA03 (trincamento e irregularidade longitudinal IRI).

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **VIA-040 UA04**
Run Date: **06-05-2016**

Section Details:

ID: UA04
Length: 6,30km
Description: TresMarias257,819ao264,122
Width: 3,50m
Rise + Fall: 60,10m/km
Road Class: Primary or Trunk
Curvature: 35,40deg/km
Alternative: Base Alternative

					Bituminous Pavement														
					End of Year Condition														
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth		
2016	1473	0,37	Before works	AMGB	6,70	2.21	13,20	0,00	0,00	13,20	0,00	0	0,00	32.20	2,93	2,29	0,53	0,63
			After works	AMGB	6,70	2,21	13,20	0,00	0,00	13,20	0,00	0	0,00	32.20	2,93	2,29	0,53	0,63
2017	1524	0,39	Before works	AMGB	6,60	2.33	21,64	0,00	0,00	21,64	0,00	0	0,00	99.93	3,06	2,38	0,53	0,63
			After works	AMGB	6,60	2,33	21,64	0,00	0,00	21,64	0,00	0	0,00	99.93	3,06	2,38	0,53	0,63
2018	1578	0,40	Before works	AMGB	6,46	2.47	32,49	0,00	0,00	32,49	0,00	0	0,00	172.68	3,20	2,47	0,53	0,63
			After works	AMGB	6,46	2,47	32,49	0,00	0,00	32,49	0,00	0	0,00	172.68	3,20	2,47	0,53	0,63
2019	1633	0,42	Before works	AMGB	6,29	2.64	45,86	0,00	0,00	45,86	0,00	0	0,00	250.88	3,36	2,57	0,53	0,63
			After works	AMGB	6,29	2,64	45,86	0,00	0,00	45,86	0,00	0	0,00	250.88	3,36	2,57	0,53	0,63
2020	1690	0,43	Before works	AMGB	6,06	2.82	60,37	0,00	0,00	60,37	0,00	0	0,00	334.95	3,53	2,68	0,53	0,63
			After works	AMGB	6,06	2,82	60,37	0,00	0,00	60,37	0,00	0	0,00	334.95	3,53	2,68	0,53	0,63
2021	1749	0,45	Before works	AMGB	5,82	2.99	72,45	3,05	0,00	72,45	0,00	0	0,00	425.34	3,71	2,79	0,53	0,62
			After works	AMGB	5,82	2,99	72,45	3,05	0,00	72,45	0,00	0	0,00	425.34	3,71	2,79	0,53	0,62
2022	1810	0,46	Before works	AMGB	5,60	3.15	82,02	8,88	0,00	82,02	0,00	0	0,00	522.55	3,92	2,91	0,53	0,62
			After works	AMGB	5,60	3,15	82,02	8,88	0,00	82,02	0,00	0	0,00	522.55	3,92	2,91	0,53	0,62
2023	1874	0,48	Before works	AMGB	5,42	3.25	82,08	17,39	0,00	82,08	0,00	0	0,00	627.10	4,14	3,04	0,53	0,62
			After works	AMGB	5,42	3,25	82,08	17,39	0,00	82,08	0,00	0	0,00	627.10	4,14	3,04	0,53	0,62
2024	1939	0,49	Before works	AMGB	5,39	3.36	82,00	29,02	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	4,37	3,17	0,53	0,62
			After works	AMGB	5,39	3,36	82,00	29,02	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	4,37	3,17	0,53	0,62

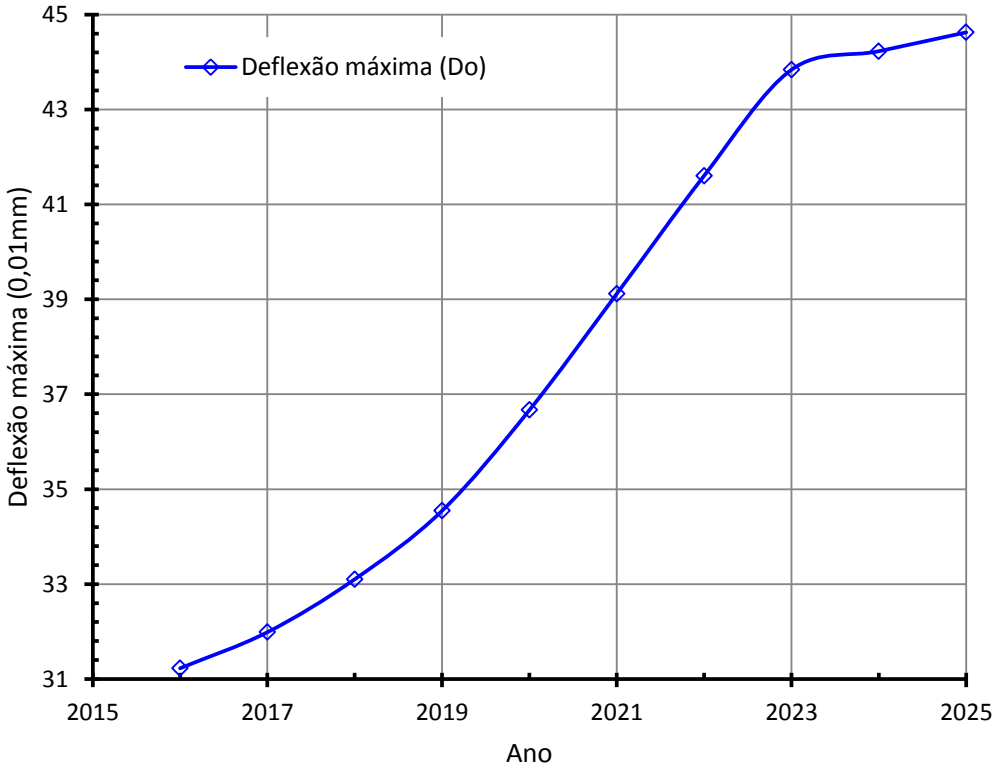


Figura UA04.1 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento da UA04 (deflexão máxima).

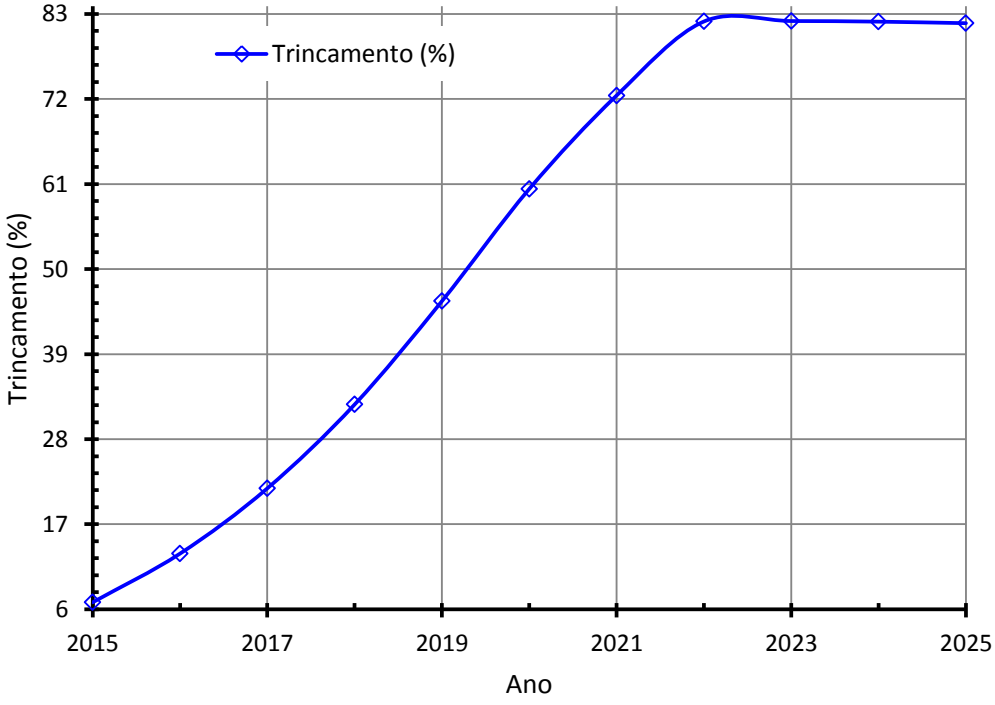


Figura UA04.2 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA04 (trincamento).

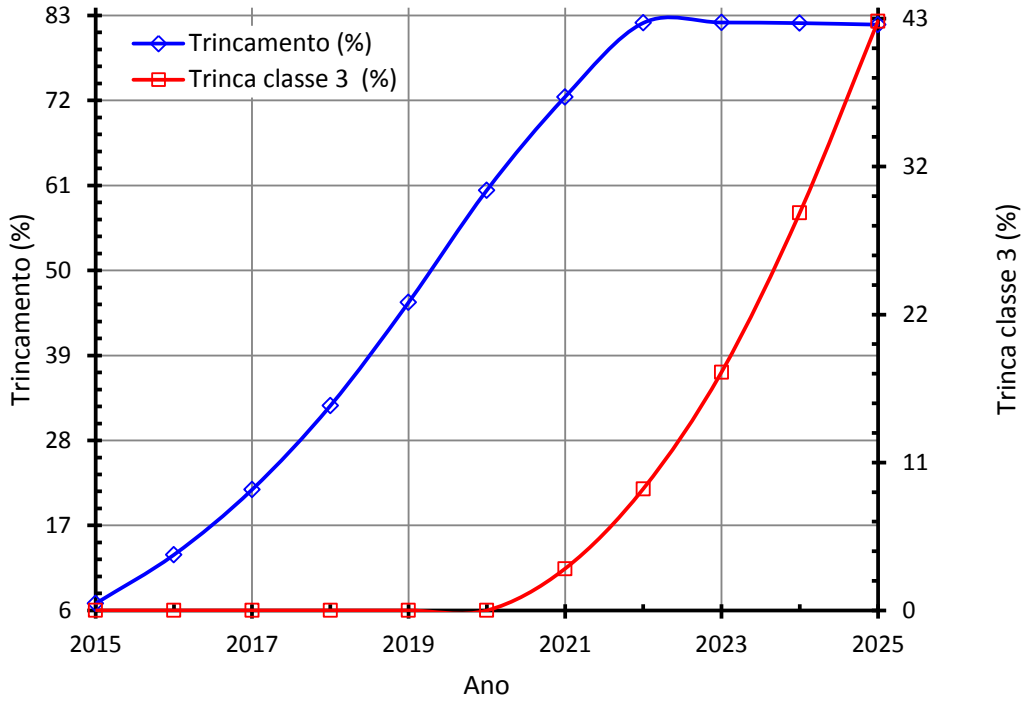


Figura UA04.3 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA04 (trincamento e trinca classe 3).

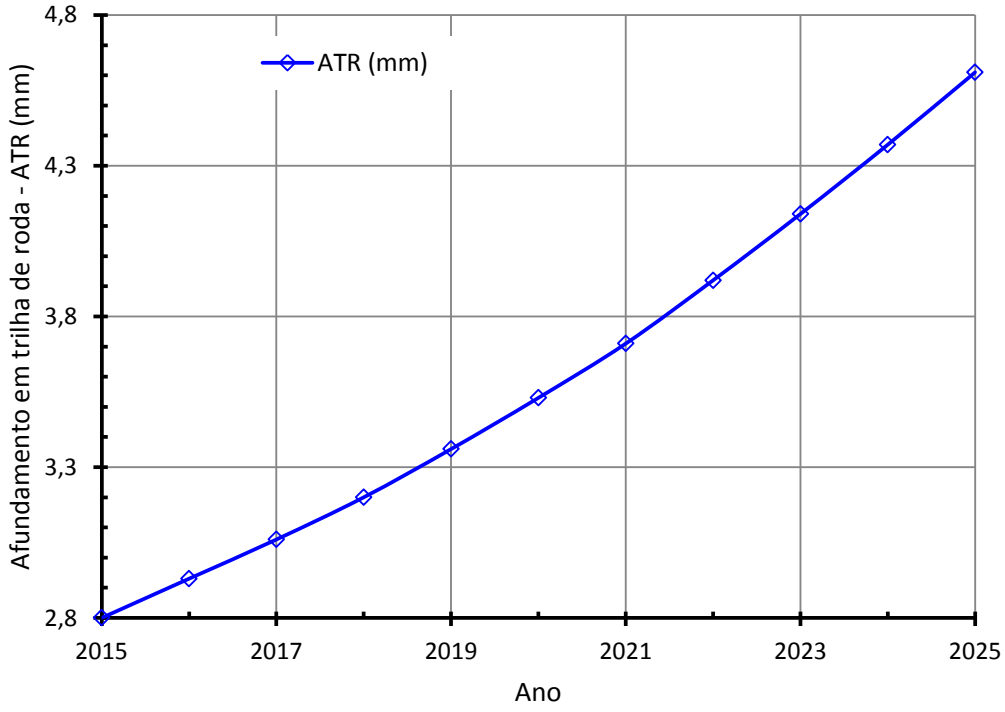


Figura UA04.4 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento da UA04 (afundamento em trilhas de roda ATR).

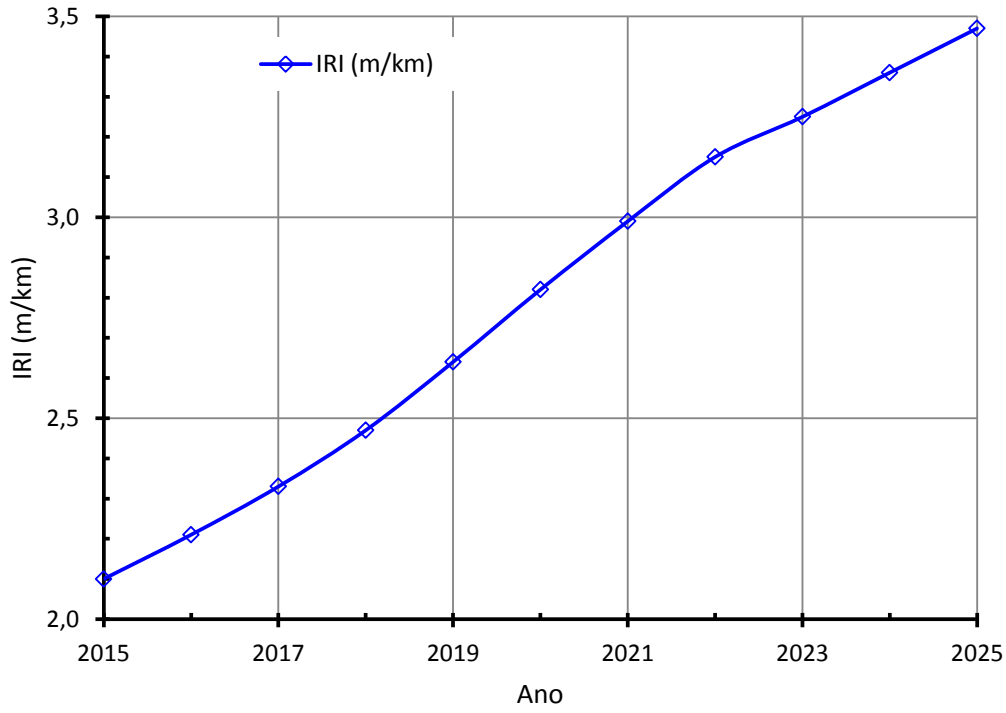


Figura UA04.5 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA04 (irregularidade longitudinal IRI).

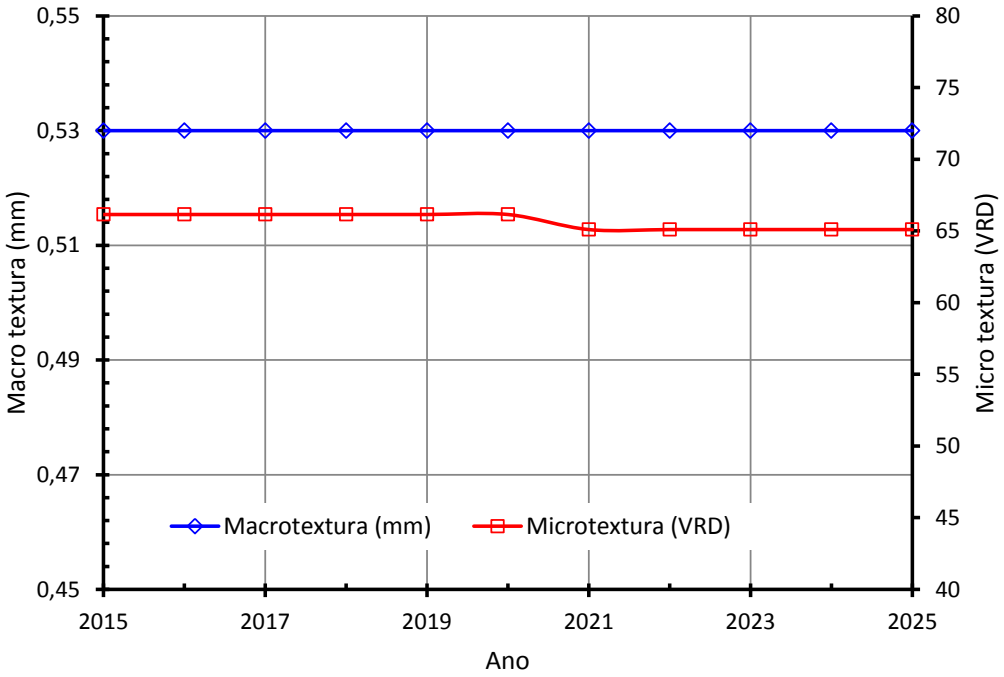


Figura UA04.6 – Curvas de previsão de desempenho da condição de aderência do pavimento da UA04 (macro e micro texturas).

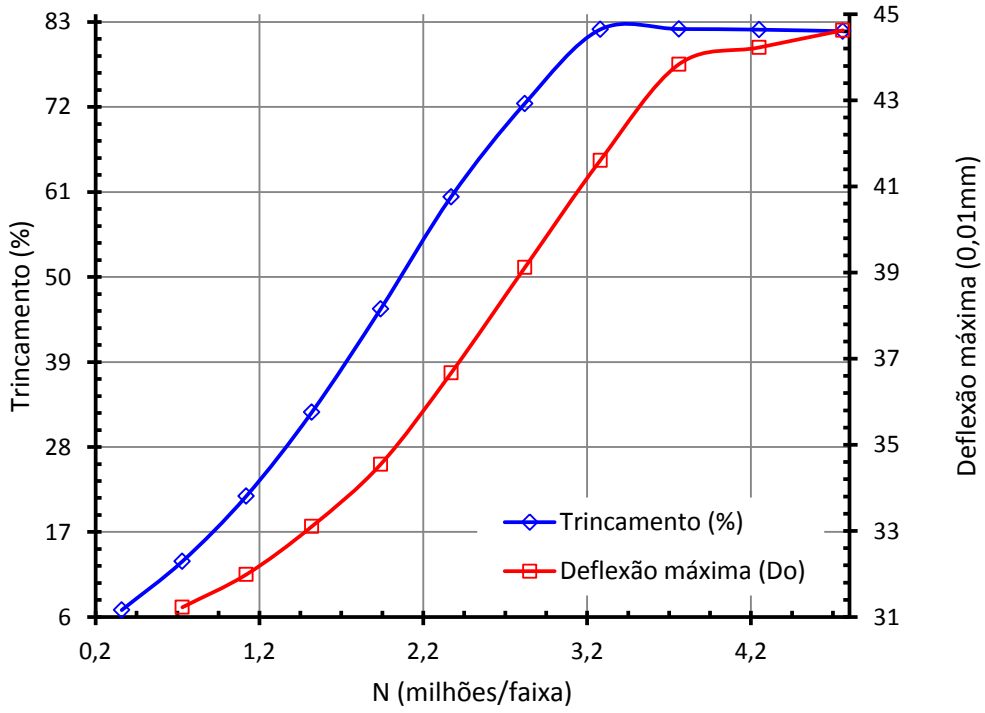


Figura UA04.7 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA04 (deflexão máxima e trincamento).

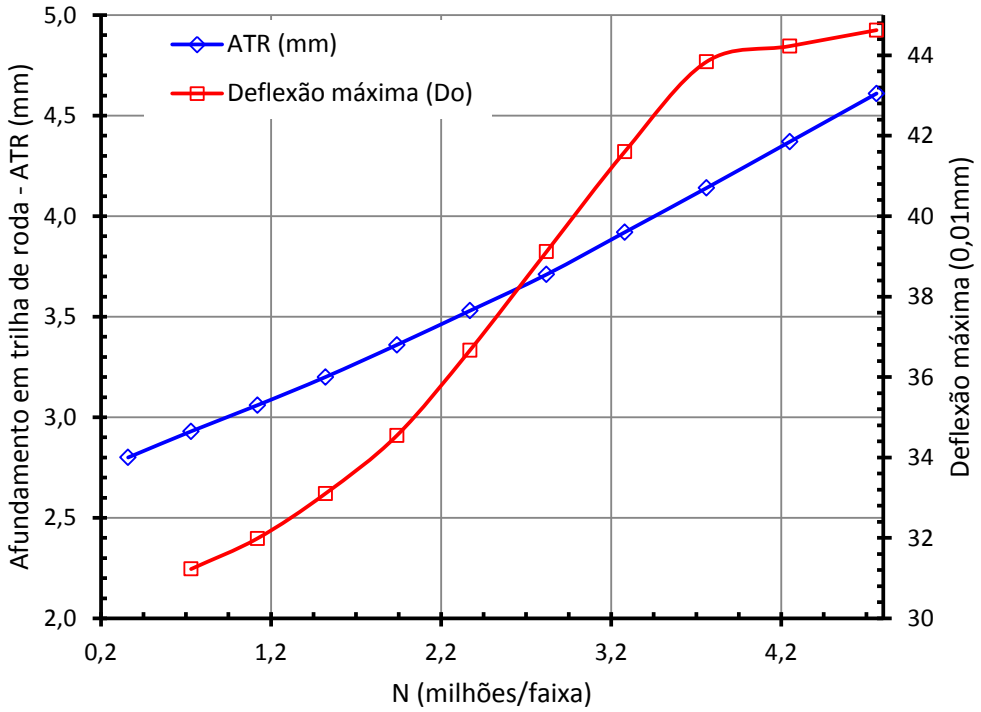


Figura UA04.8 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA04 (deflexão máxima e afundamento em trilhas de roda ATR).

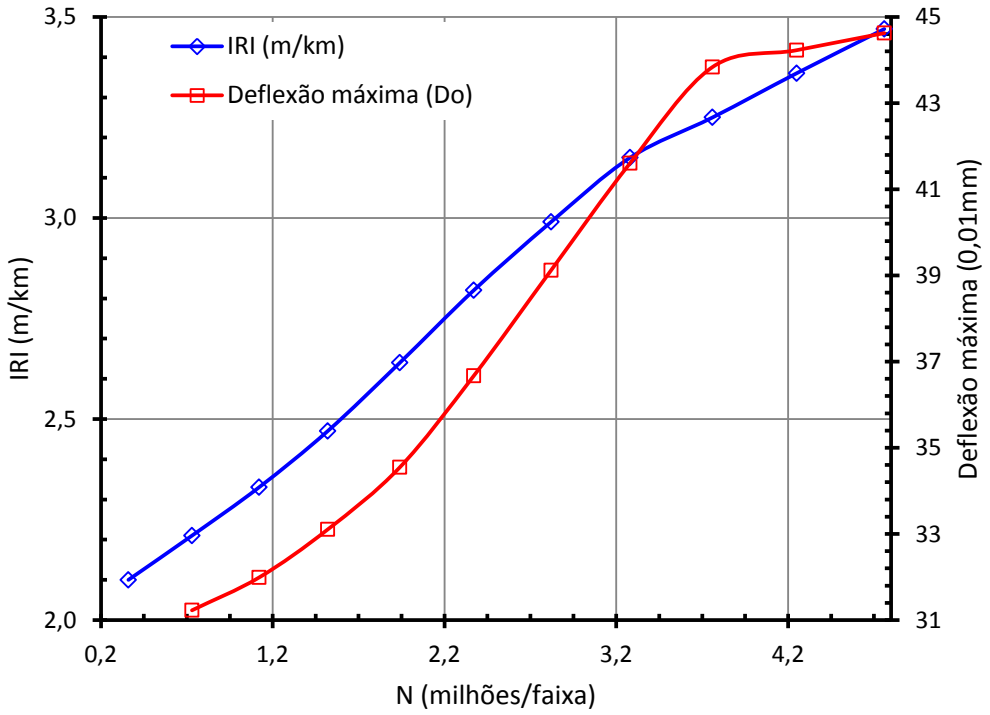


Figura UA04.9 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA04 (deflexão máxima e irregularidade longitudinal IRI).

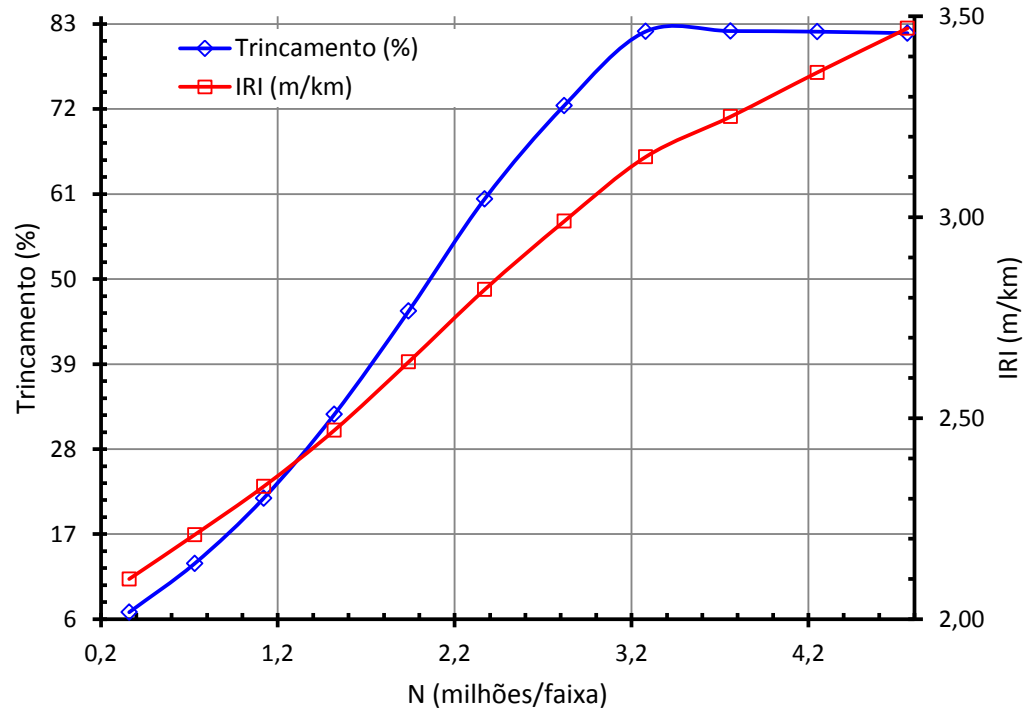


Figura UA04.10 – Curvas de previsão de desempenho das condições funcionais do pavimento da UA04 (trincamento e irregularidade longitudinal IRI).

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **VIA-040 UA05**
Run Date: **06-05-2016**

Section Details:

ID: UA05
Length: 5,02km
Description: Felixlandia350,820ao355,844
Width: 3,50m
Rise + Fall: 30,99m/km
Road Class: Primary or Trunk
Curvature: 13,73deg/km
Alternative: Base Alternative

					Bituminous Pavement														
					End of Year Condition														
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) VE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm) RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2016	2449	0,24	Before works	AMGB	4,70	1.81	17,08	0,00	0,00	17,08	0,00	0	0,00	89.01	2,28	1,84	0,41	0,78
			After works	AMGB	4,70	1,81	17,08	0,00	0,00	17,08	0,00	0	0,00	89.01	2,28	1,84	0,41	0,78
2017	2535	0,25	Before works	AMGB	4,63	1.94	26,19	0,00	0,00	26,19	0,00	0	0,00	248.31	2,48	1,99	0,41	0,78
			After works	AMGB	4,63	1,94	26,19	0,00	0,00	26,19	0,00	0	0,00	248.31	2,48	1,99	0,41	0,78
2018	2623	0,26	Before works	AMGB	4,54	2.09	37,60	0,00	0,00	37,60	0,00	0	0,00	419.55	2,68	2,12	0,41	0,78
			After works	AMGB	4,54	2,09	37,60	0,00	0,00	37,60	0,00	0	0,00	419.55	2,68	2,12	0,41	0,78
2019	2715	0,27	Before works	AMGB	4,41	2.26	51,37	1,09	0,00	51,37	0,00	0	0,00	603.65	2,90	2,27	0,41	0,78
			After works	AMGB	4,41	2,26	51,37	1,09	0,00	51,37	0,00	0	0,00	603.65	2,90	2,27	0,41	0,78
2020	2810	0,28	Before works	AMGB	4,26	2.44	65,44	5,73	0,00	65,44	0,00	0	0,00	630.00	3,15	2,44	0,41	0,78
			After works	AMGB	4,26	2,44	65,44	5,73	0,00	65,44	0,00	0	0,00	630.00	3,15	2,44	0,41	0,78
2021	2908	0,29	Before works	AMGB	4,10	2.61	77,04	13,56	0,00	77,04	0,00	0	0,00	630.00	3,42	2,61	0,41	0,78
			After works	AMGB	4,10	2,61	77,04	13,56	0,00	77,04	0,00	0	0,00	630.00	3,42	2,61	0,41	0,78
2022	3010	0,30	Before works	AMGB	3,96	2.75	82,00	24,17	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	3,71	2,79	0,41	0,77
			After works	AMGB	3,96	2,75	82,00	24,17	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	3,71	2,79	0,41	0,77
2023	3116	0,31	Before works	AMGB	3,89	3.04	81,65	37,04	0,00	81,65	0,00	122	0,35	630.00	4,03	2,98	0,41	0,77
			After works	AMGB	3,89	2,91	81,65	37,04	0,00	81,65	0,00	0	0,00	630.00	4,03	2,98	0,41	0,77
2024	3225	0,32	Before works	AMGB	3,88	3.38	81,45	52,05	0,00	81,45	0,00	193	0,55	630.00	4,36	3,16	0,41	0,77
			After works	AMGB	3,88	3,18	81,45	52,05	0,00	81,45	0,00	0	0,00	630.00	4,36	3,16	0,41	0,77

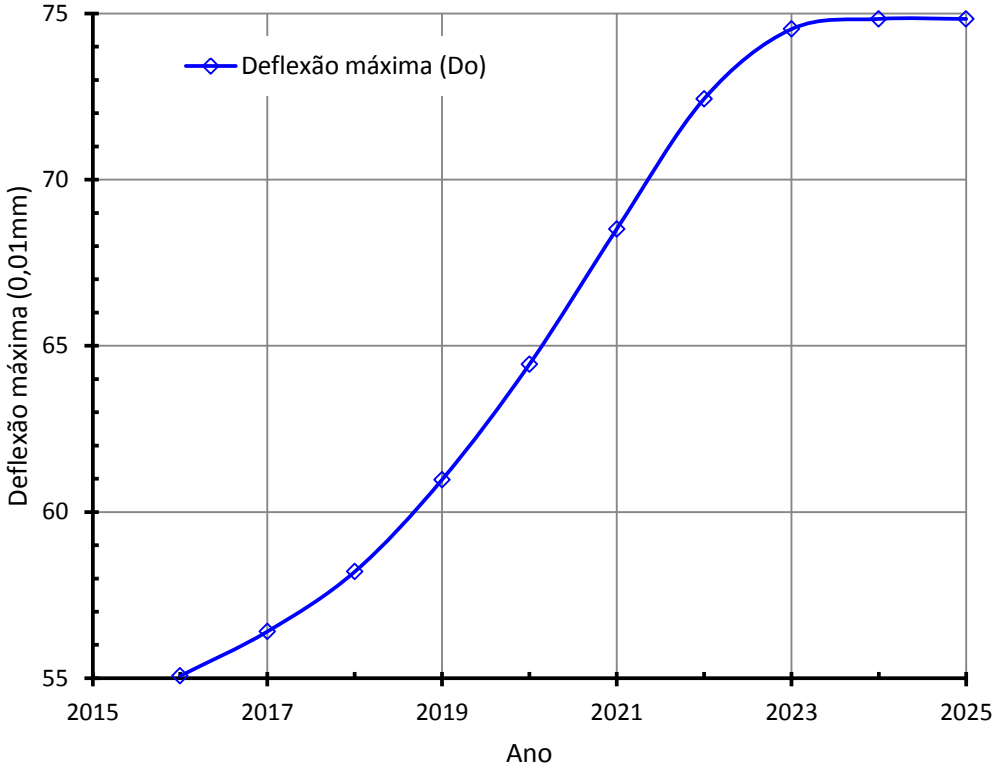


Figura UA05.1 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento da UA05 (deflexão máxima).

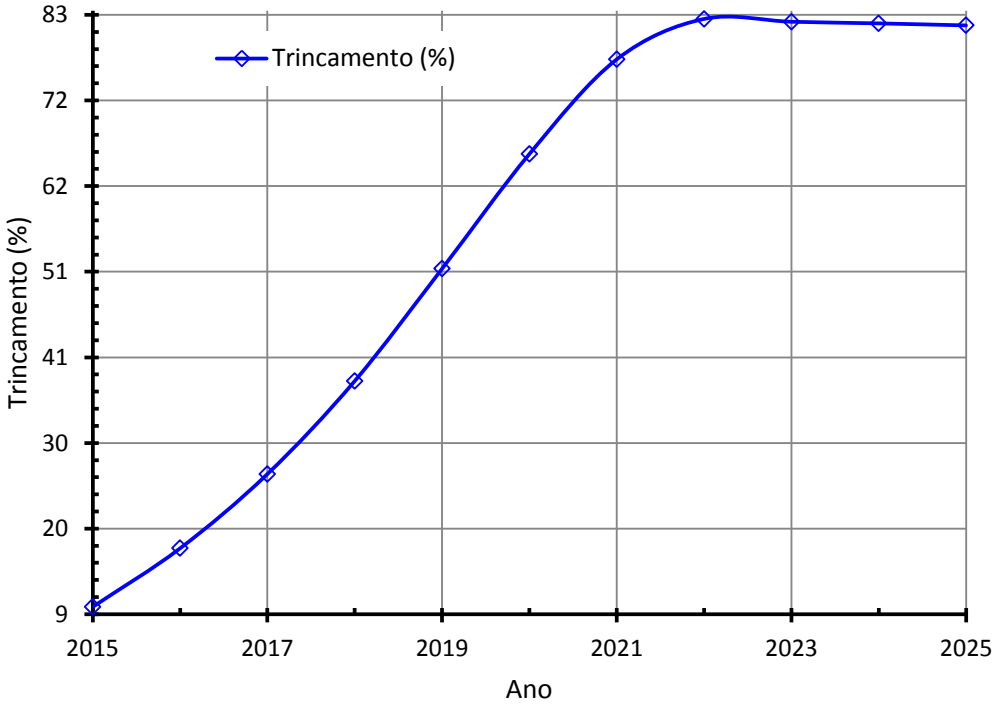


Figura UA05.2 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA05 (trincamento).

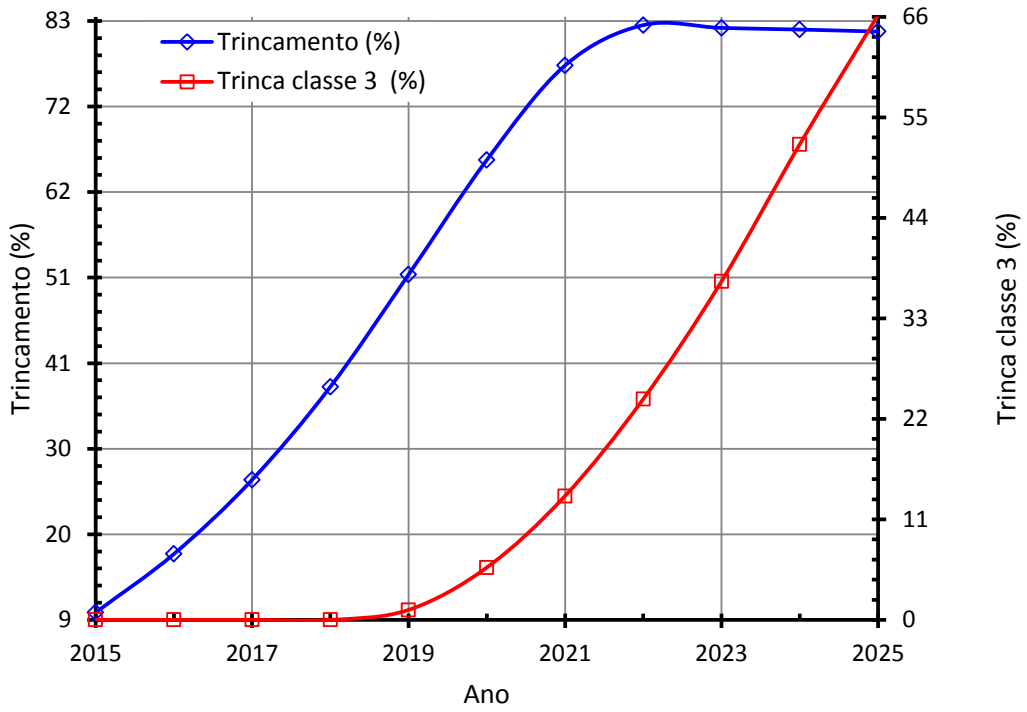


Figura UA05.3 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA05 (trincamento e trinca classe 3).

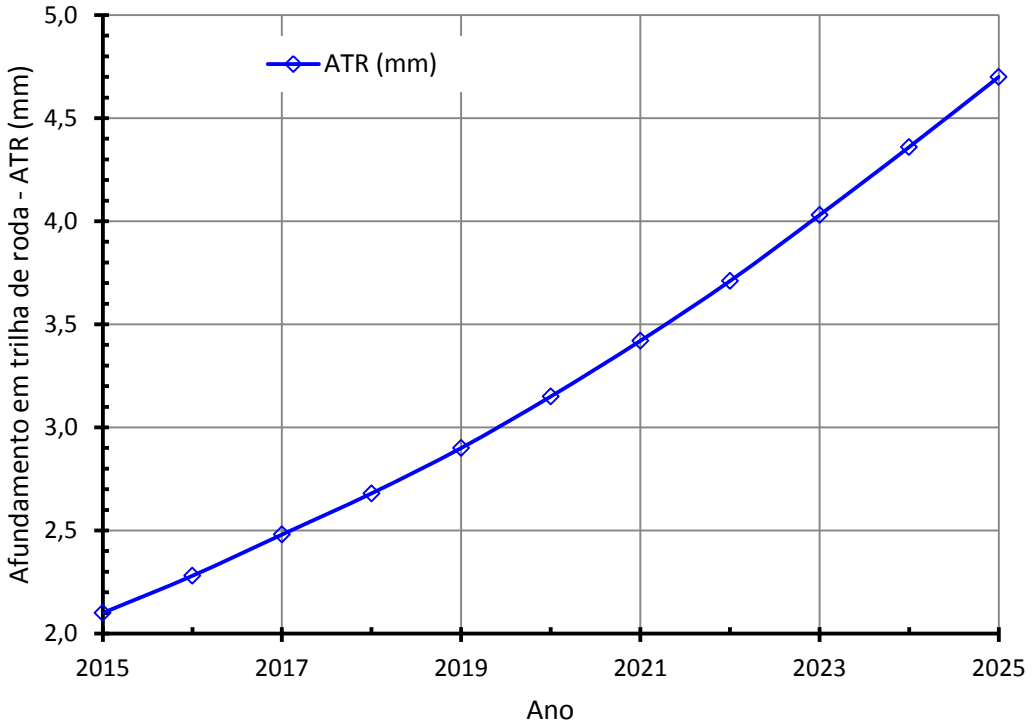


Figura UA05.4 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento da UA05 (afundamento em trilhas de roda ATR).

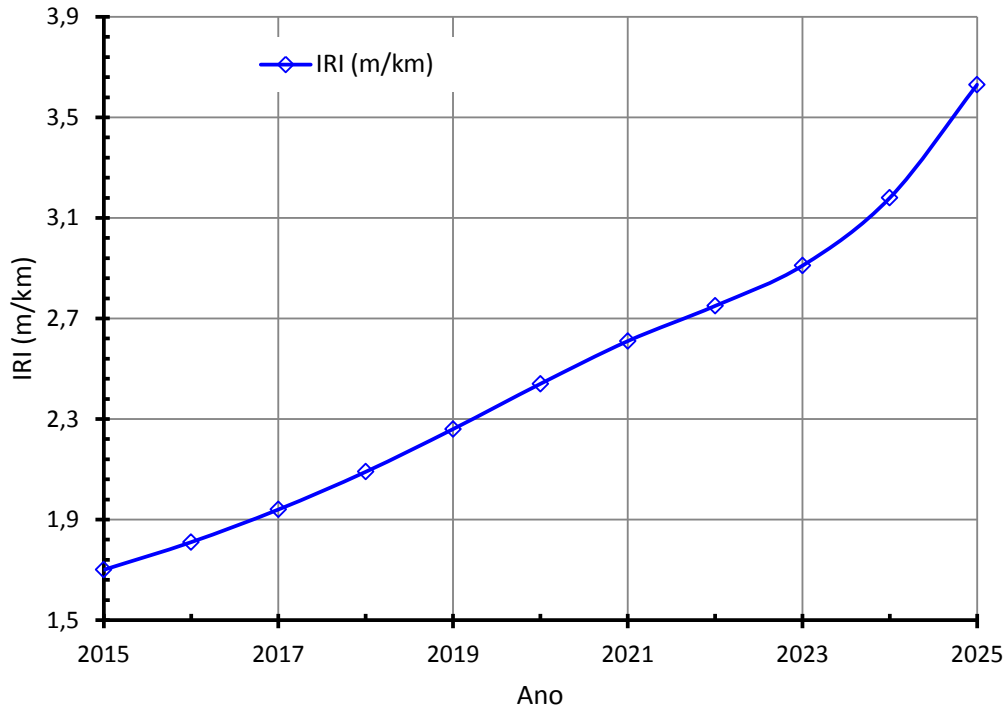


Figura UA05.5 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA05 (irregularidade longitudinal IRI).

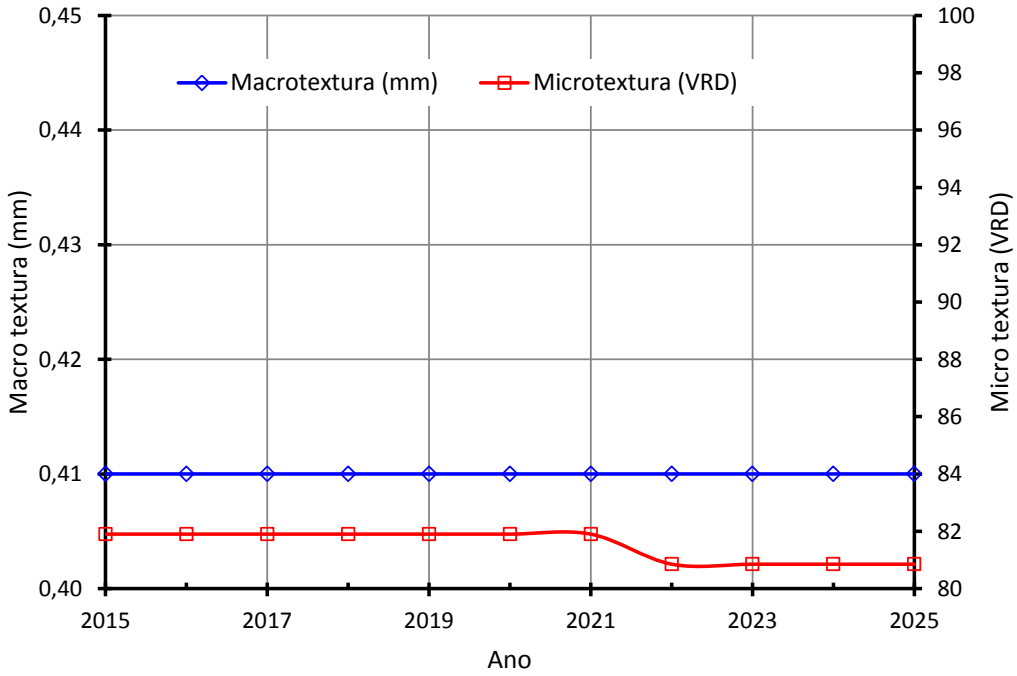


Figura UA05.6 – Curvas de previsão de desempenho da condição de aderência do pavimento da UA05 (macro e micro texturas).

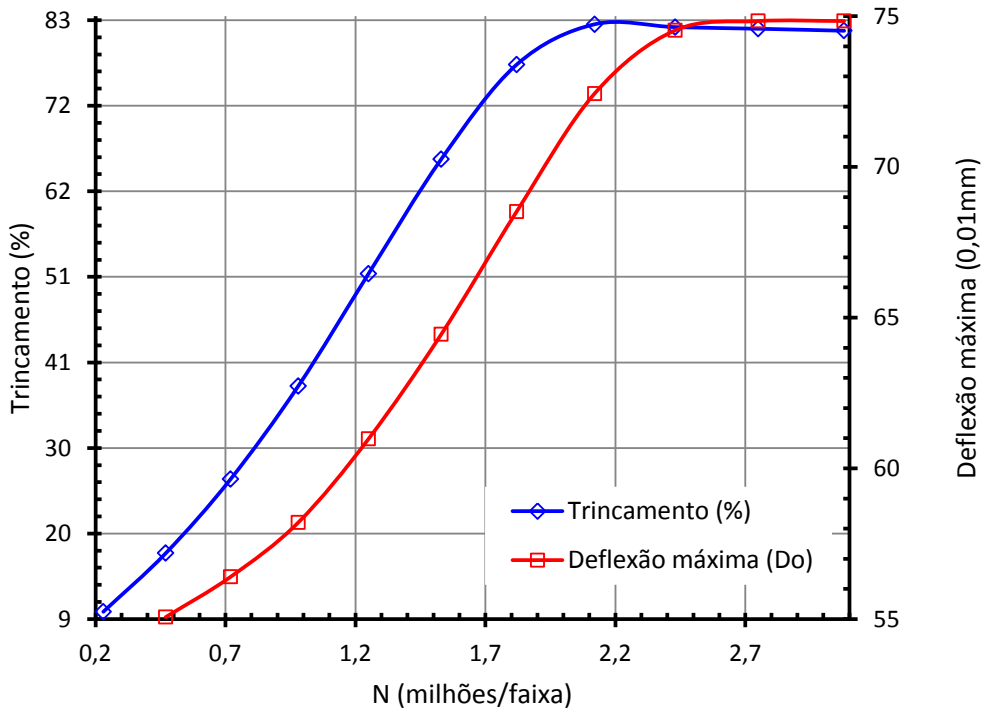


Figura UA05.7 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA05 (deflexão máxima e trincamento).

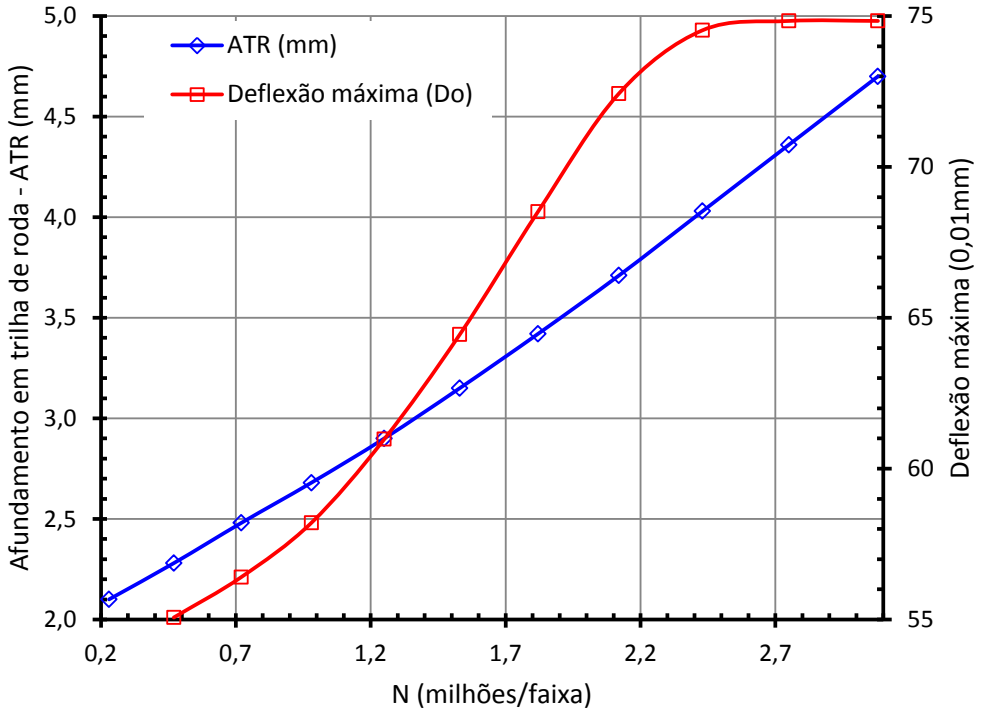


Figura UA05.8 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA05 (deflexão máxima e afundamento em trilhas de roda ATR).

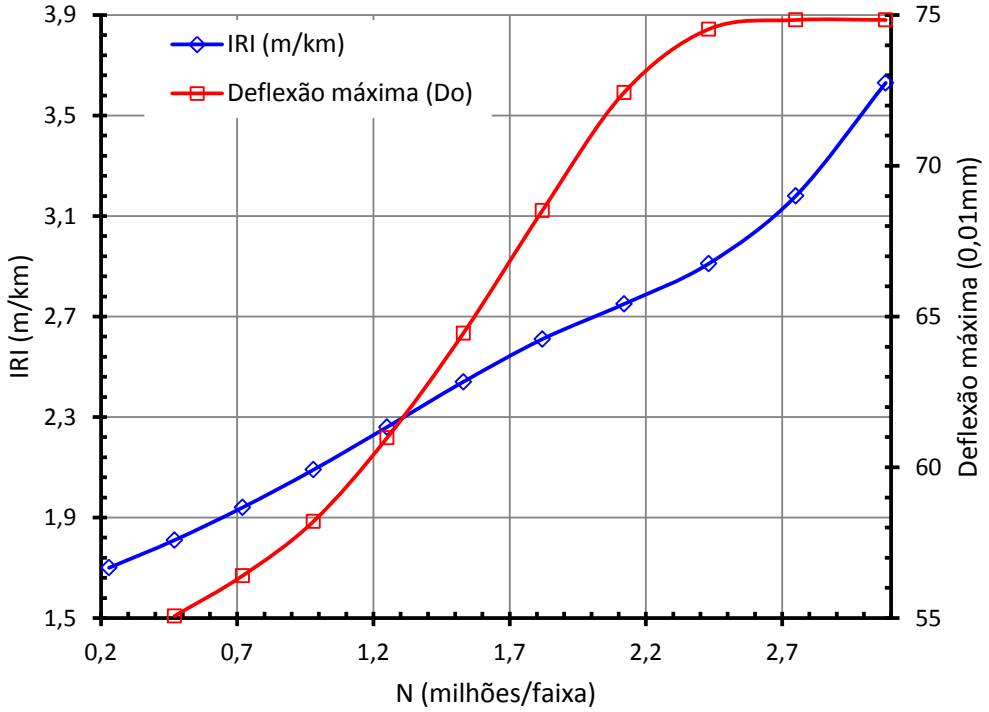


Figura UA05.9 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA05 (deflexão máxima e irregularidade longitudinal IRI).

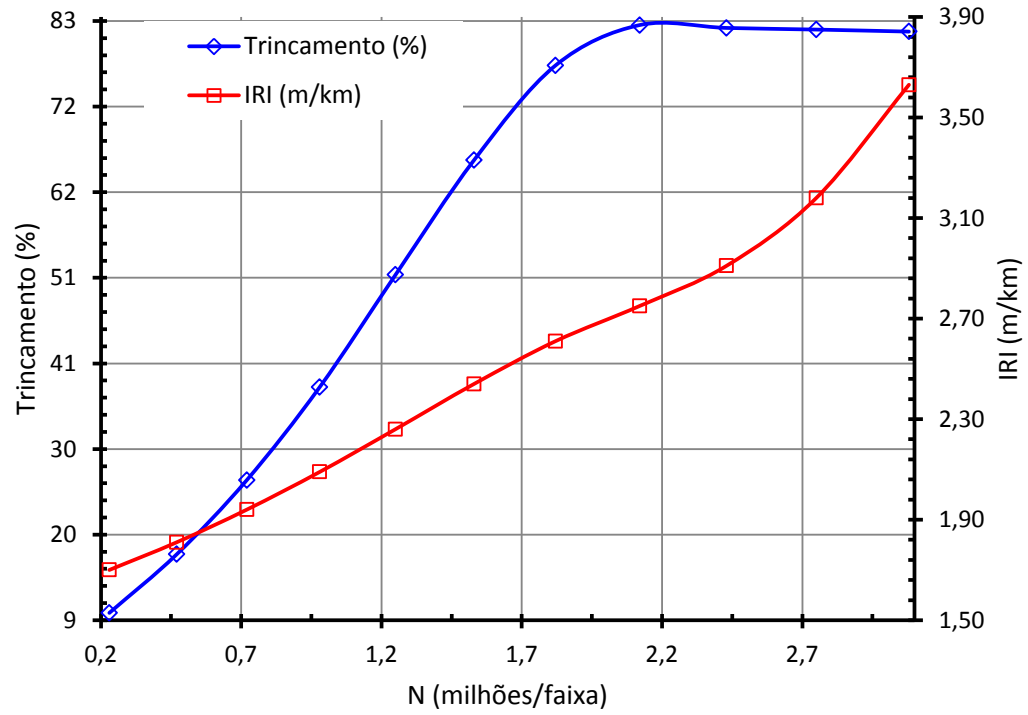


Figura UA05.10 – Curvas de previsão de desempenho das condições funcionais do pavimento da UA05 (trincamento e irregularidade longitudinal IRI).

HDM-4 Pavement Condition (Bituminous Pavements)

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Study Name: **VIA-040 UA06**
Run Date: **10-05-2016**

Section Details:

ID: UA06 | Description: Curvelo405,000ao407,200 | Road Class: Primary or Trunk
Length: 2,20km | Width: 3,50m | Rise + Fall: 30,99m/km | Curvature: 13,73deg/km
Alternative: Base Alternative

					Bituminous Pavement														
					End of Year Condition														
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth		
2016	1667	0,11	Before works	AMGB	4,56	3.46	26,12	0,00	0,00	26,12	0,00	0	0,00	41.27	2,48	1,99	0,68	0,68
			After works	AMGB	4,56	3,46	26,12	0,00	0,00	26,12	0,00	0	0,00	41.27	2,48	1,99	0,68	0,68
2017	1726	0,11	Before works	AMGB	4,45	3.65	38,10	0,00	0,00	38,10	0,00	0	0,00	110.11	2,66	2,11	0,68	0,68
			After works	AMGB	4,45	3,65	38,10	0,00	0,00	38,10	0,00	0	0,00	110.11	2,66	2,11	0,68	0,68
2018	1786	0,11	Before works	AMGB	4,30	3.85	52,56	0,00	0,00	52,56	0,00	0	0,00	184.04	2,87	2,25	0,68	0,68
			After works	AMGB	4,30	3,85	52,56	0,00	0,00	52,56	0,00	0	0,00	184.04	2,87	2,25	0,68	0,68
2019	1849	0,12	Before works	AMGB	4,13	4.06	66,12	0,00	0,00	66,12	0,00	0	0,00	263.47	3,09	2,40	0,68	0,68
			After works	AMGB	4,13	4,06	66,12	0,00	0,00	66,12	0,00	0	0,00	263.47	3,09	2,40	0,68	0,68
2020	1913	0,12	Before works	AMGB	3,96	4.26	77,10	3,52	0,00	77,10	0,00	0	0,00	348.83	3,34	2,56	0,67	0,68
			After works	AMGB	3,96	4,26	77,10	3,52	0,00	77,10	0,00	0	0,00	348.83	3,34	2,56	0,67	0,68
2021	1980	0,13	Before works	AMGB	3,82	4.46	85,62	9,67	0,00	85,62	0,00	0	0,00	440.60	3,60	2,72	0,67	0,68
			After works	AMGB	3,82	4,46	85,62	9,67	0,00	85,62	0,00	0	0,00	440.60	3,60	2,72	0,67	0,68
2022	2050	0,13	Before works	AMGB	3,69	4.59	84,59	18,49	0,00	84,59	0,00	0	0,00	539.28	3,89	2,90	0,67	0,67
			After works	AMGB	3,69	4,59	84,59	18,49	0,00	84,59	0,00	0	0,00	539.28	3,89	2,90	0,67	0,67
2023	2121	0,14	Before works	AMGB	3,69	4.72	82,00	29,90	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	4,18	3,06	0,67	0,67
			After works	AMGB	3,69	4,72	82,00	29,90	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	4,18	3,06	0,67	0,67
2024	2196	0,14	Before works	AMGB	3,69	4.97	81,76	44,02	0,00	81,76	0,00	83	0,24	630.00	4,47	3,22	0,67	0,67
			After works	AMGB	3,69	4,89	81,76	44,02	0,00	81,76	0,00	0	0,00	630.00	4,47	3,22	0,67	0,67

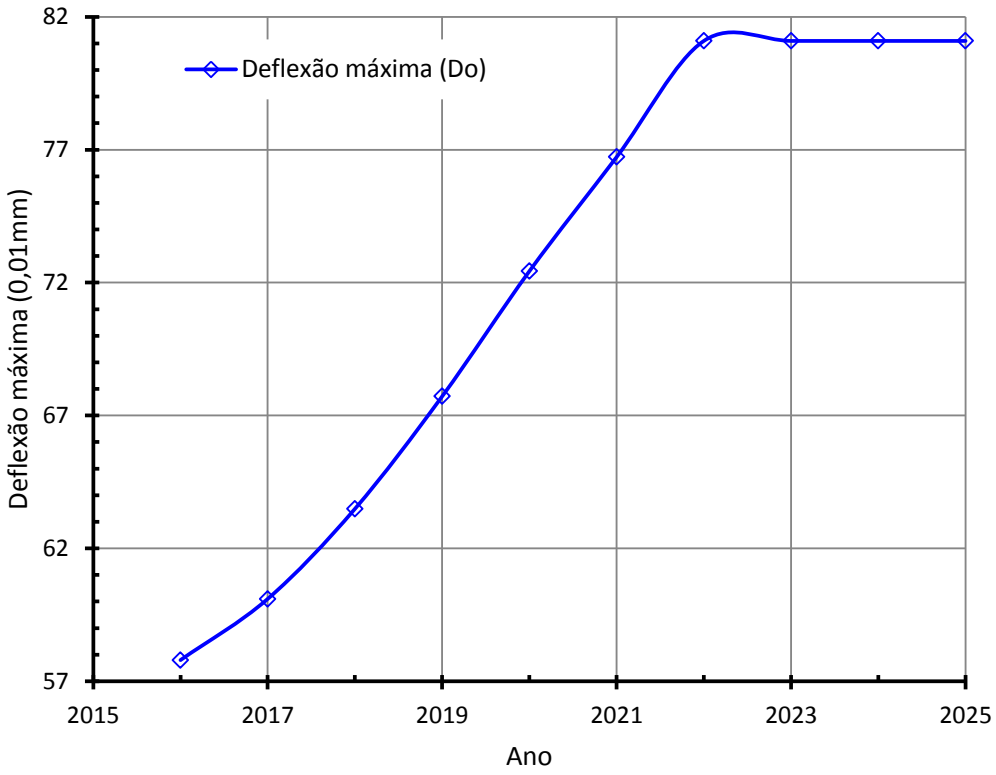


Figura UA06.1 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento da UA06 (deflexão máxima).

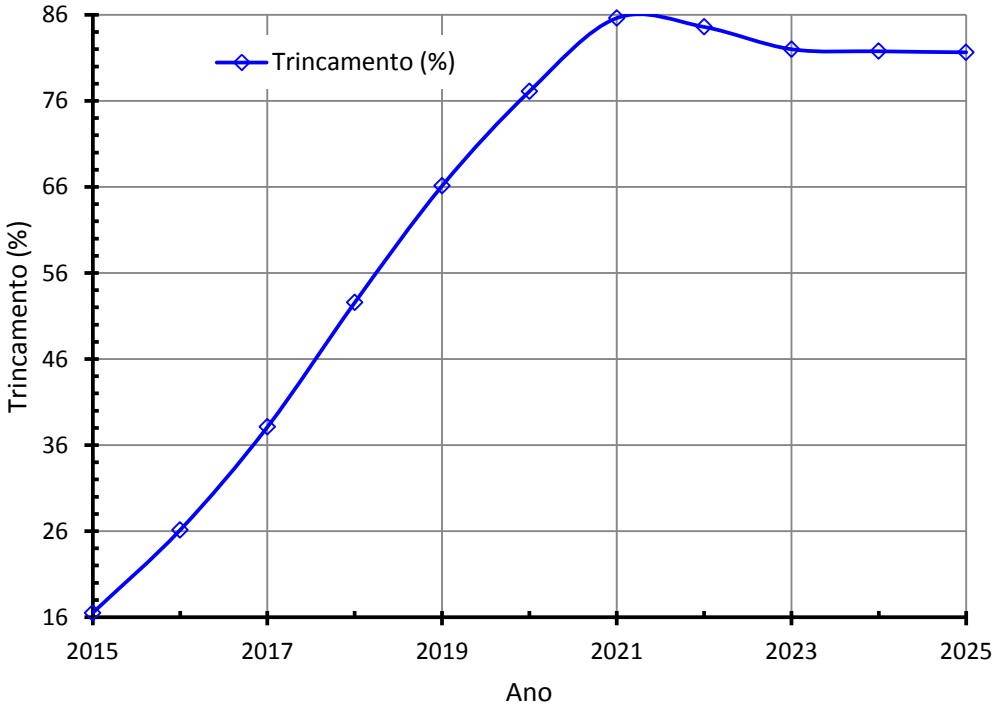


Figura UA06.2 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA06 (trincamento).

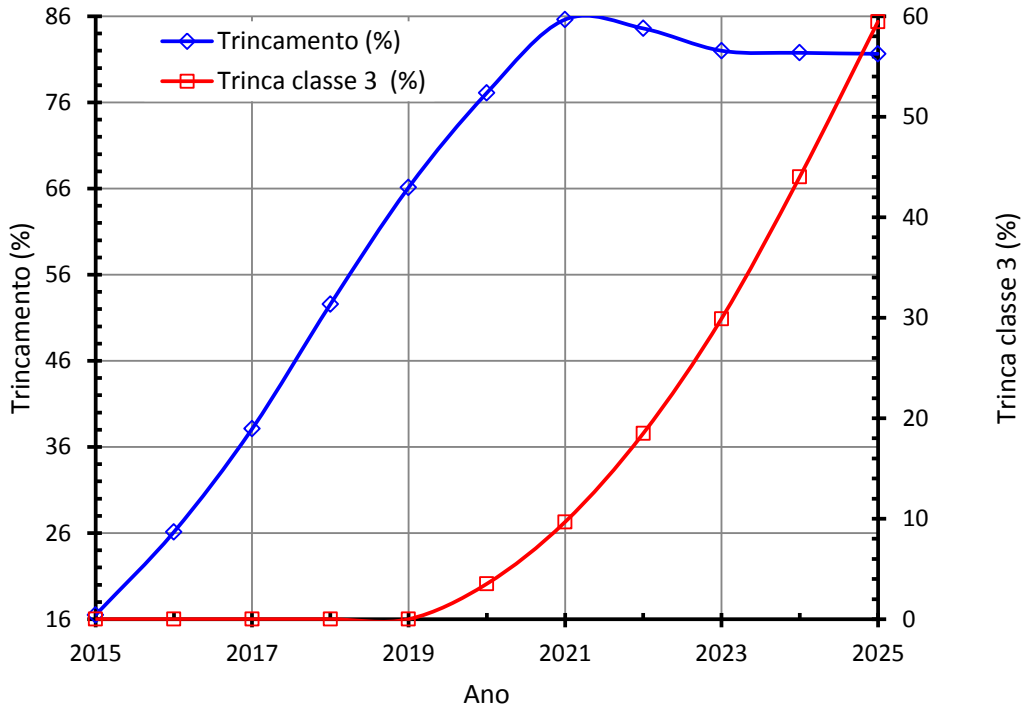


Figura UA06.3 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA06 (trincamento e trinca classe 3).

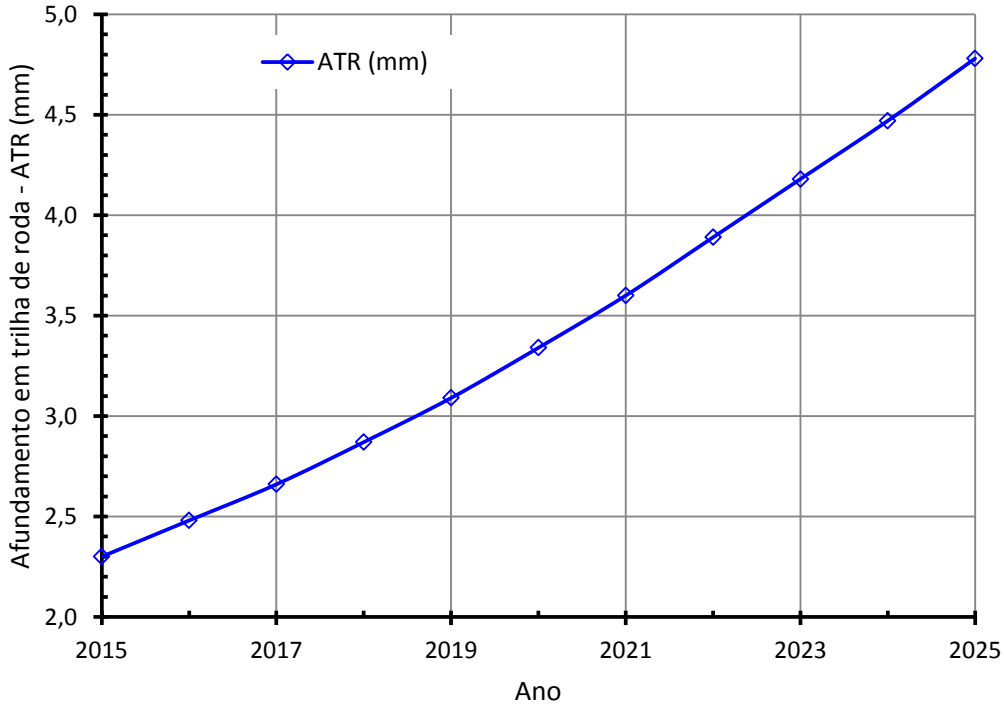


Figura UA06.4 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento da UA06 (afundamento em trilhas de roda ATR).

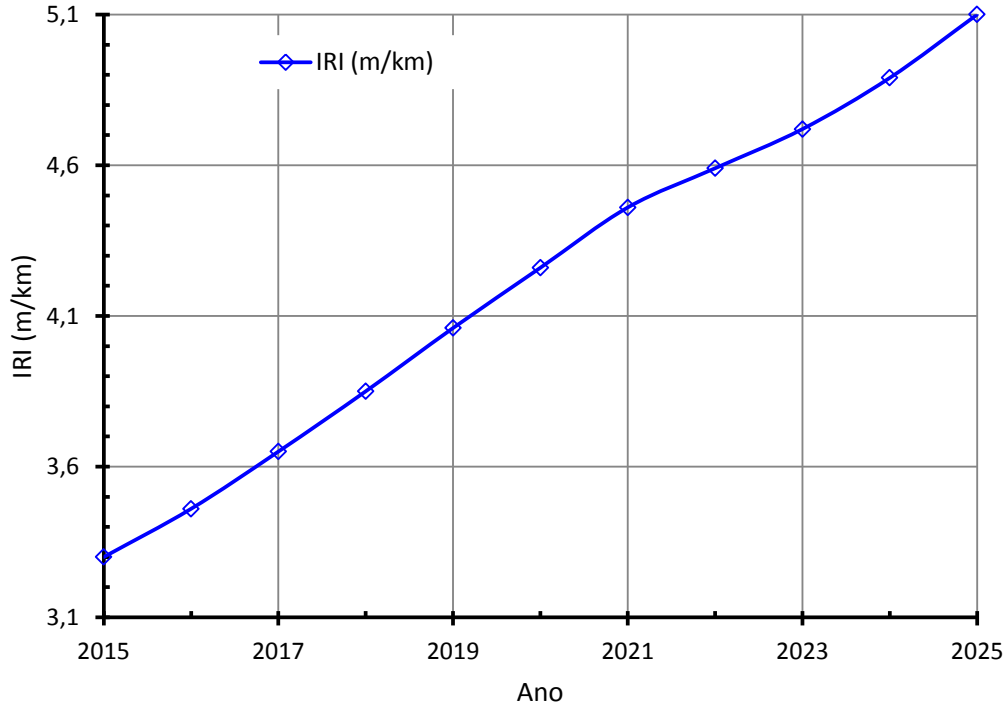


Figura UA06.5 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA06 (irregularidade longitudinal IRI).

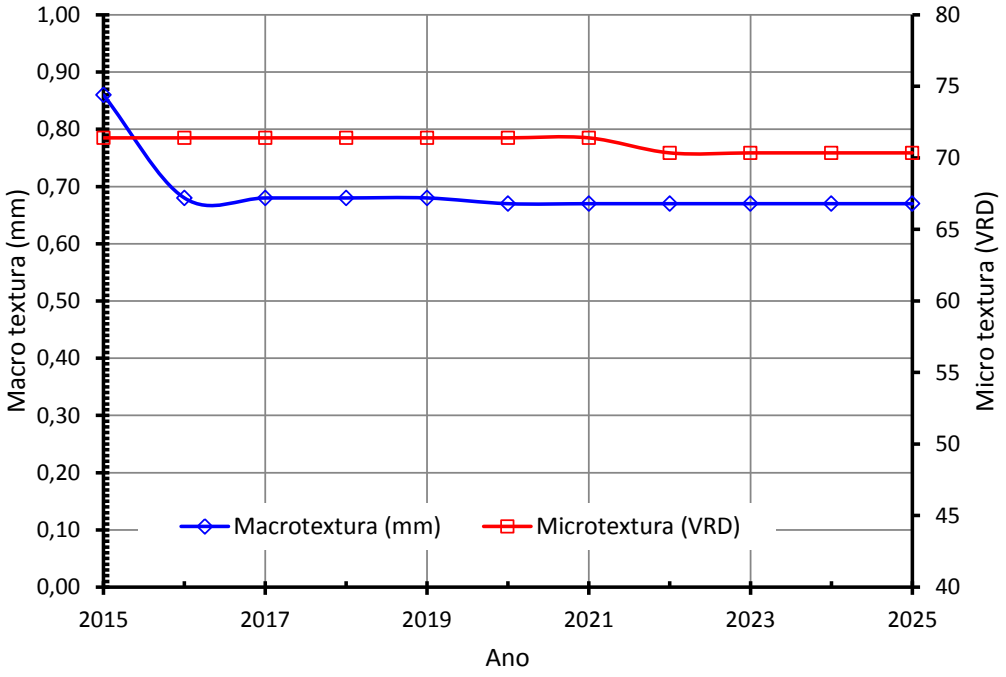


Figura UA06.6 – Curvas de previsão de desempenho da condição de aderência do pavimento da UA06 (macro e micro texturas).

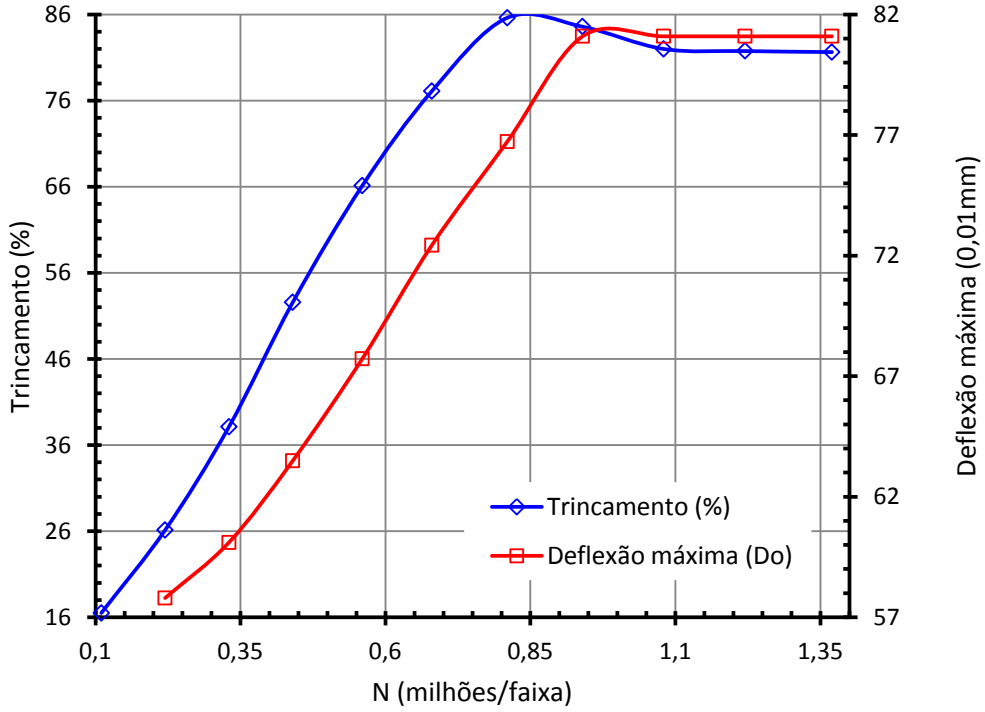


Figura UA06.7 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA06 (deflexão máxima e trincamento).

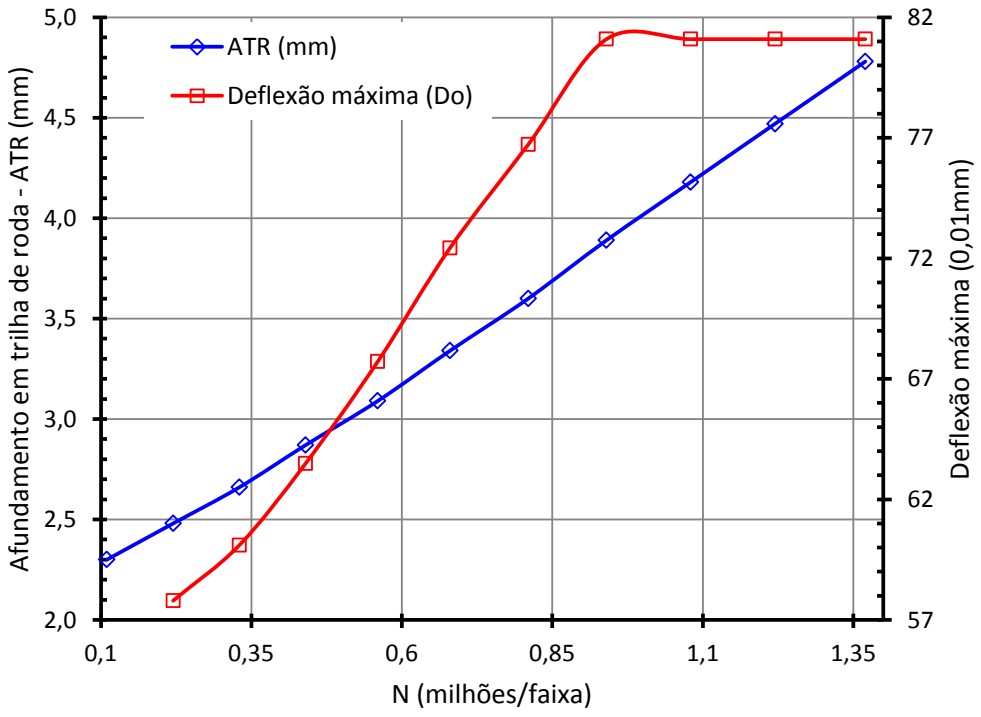


Figura UA06.8 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA06 (deflexão máxima e afundamento em trilhas de roda ATR).

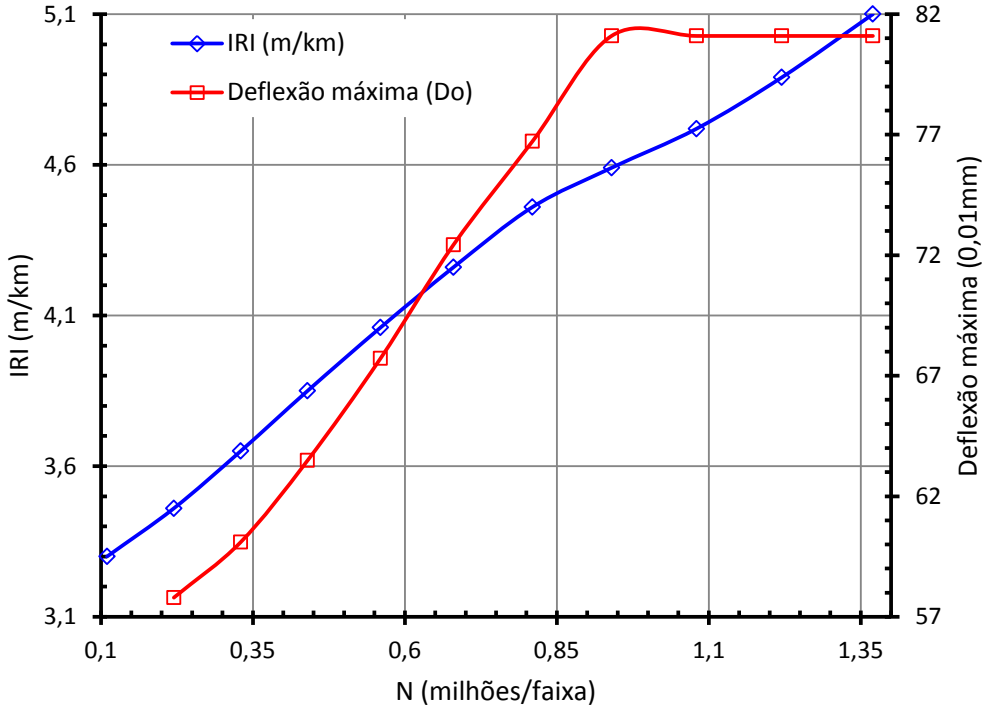


Figura UA06.9 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA06 (deflexão máxima e irregularidade longitudinal IRI).

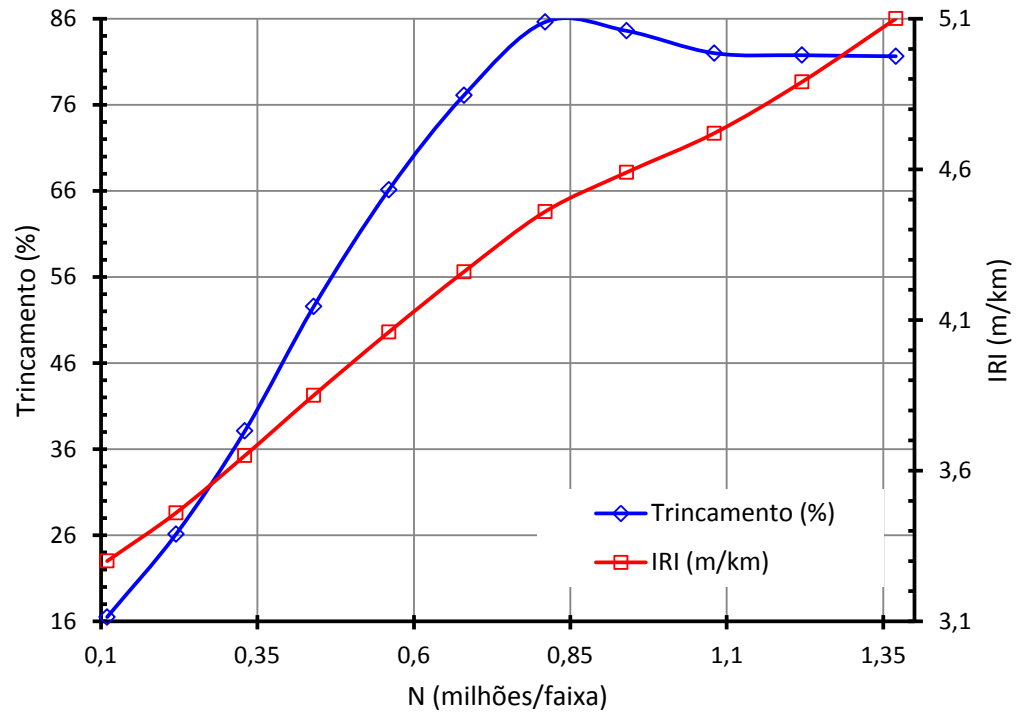


Figura UA06.10 – Curvas de previsão de desempenho das condições funcionais do pavimento da UA06 (trincamento e irregularidade longitudinal IRI).

HDM-4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **VIA-040 UA07**
Run Date: **10-05-2016**

Section Details:

ID: UA07
Length: 7,80km
Description: Itabirito568,450ao576,250
Width: 3,50m
Rise + Fall: 71,89m/km
Road Class: Primary or Trunk
Curvature: 50,85deg/km
Alternative: Base Alternative

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth		
2016	9402	0,19	Before works	AMGB	4,66	1.62	41,75	36,83	0,00	41,75	0,00	0	0,00	630.00	0,80	0,69	0,68	0,71
			After works	AMGB	4,66	1,62	41,75	36,83	0,00	41,75	0,00	0	0,00	630.00	0,80	0,69	0,68	0,71
2017	9731	0,19	Before works	AMGB	4,45	1.92	56,59	52,07	0,00	56,59	0,00	102	0,29	630.00	1,02	0,88	0,67	0,71
			After works	AMGB	4,45	1,82	56,59	52,07	0,00	56,59	0,00	0	0,00	630.00	1,02	0,88	0,67	0,71
2018	10072	0,20	Before works	AMGB	4,14	2.22	69,46	66,57	0,00	69,46	0,00	149	0,42	630.00	1,27	1,08	0,67	0,71
			After works	AMGB	4,14	2,06	69,46	66,57	0,00	69,46	0,00	0	0,00	630.00	1,27	1,08	0,67	0,71
2019	10424	0,21	Before works	AMGB	3,93	2.59	79,67	78,51	0,00	79,67	0,00	197	0,56	630.00	1,55	1,30	0,67	0,71
			After works	AMGB	3,93	2,38	79,67	78,51	0,00	79,67	0,00	0	0,00	630.00	1,55	1,30	0,67	0,71
2020	10789	0,22	Before works	AMGB	3,83	2.99	81,32	81,32	0,00	81,32	0,00	240	0,68	630.00	1,86	1,54	0,67	0,70
			After works	AMGB	3,83	2,74	81,32	81,32	0,00	81,32	0,00	0	0,00	630.00	1,86	1,54	0,67	0,70
2021	11167	0,22	Before works	AMGB	3,81	3.40	81,27	81,27	0,00	81,27	0,00	256	0,73	630.00	2,18	1,77	0,67	0,70
			After works	AMGB	3,81	3,13	81,27	81,27	0,00	81,27	0,00	0	0,00	630.00	2,18	1,77	0,67	0,70
2022	11557	0,23	Before works	AMGB	3,81	3.82	81,24	81,24	0,00	81,24	0,00	265	0,76	630.00	2,50	2,00	0,67	0,70
			After works	AMGB	3,81	3,55	81,24	81,24	0,00	81,24	0,00	0	0,00	630.00	2,50	2,00	0,67	0,70
2023	11962	0,24	Before works	AMGB	3,82	4.28	81,22	81,22	0,00	81,22	0,00	274	0,78	630.00	2,81	2,21	0,67	0,70
			After works	AMGB	3,82	4,00	81,22	81,22	0,00	81,22	0,00	0	0,00	630.00	2,81	2,21	0,67	0,70
2024	12381	0,25	Before works	AMGB	3,82	4.78	81,19	81,19	0,00	81,19	0,00	283	0,81	630.00	3,13	2,43	0,67	0,70
			After works	AMGB	3,82	4,48	81,19	81,19	0,00	81,19	0,00	0	0,00	630.00	3,13	2,43	0,67	0,70

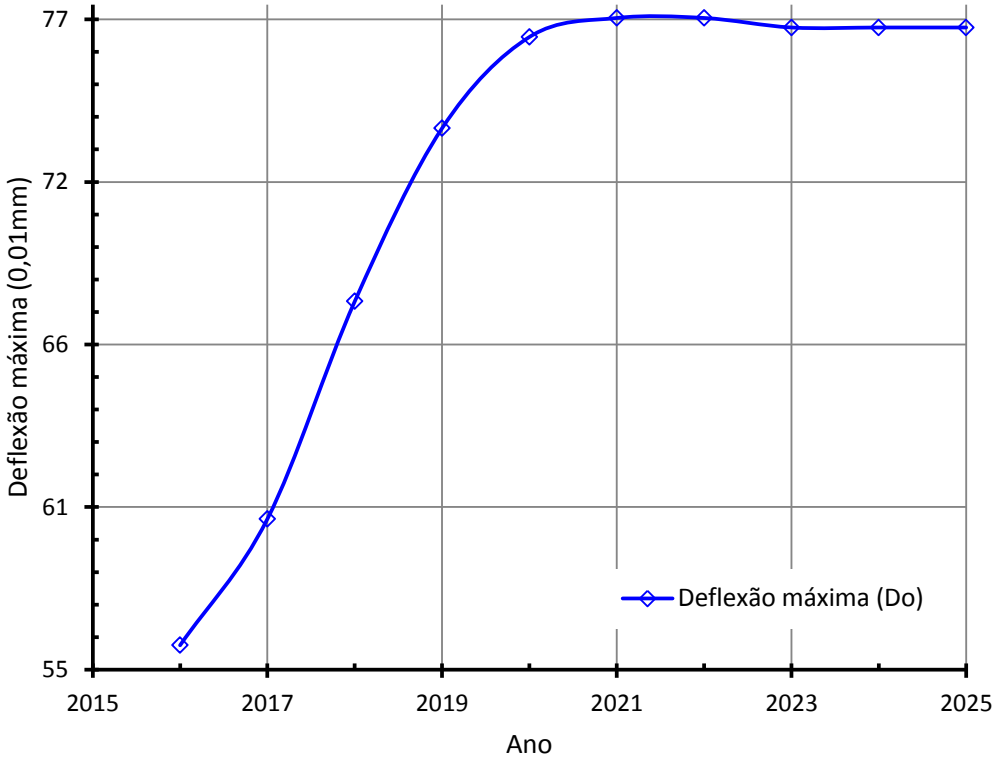


Figura UA07.1 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento da UA07 (deflexão máxima).

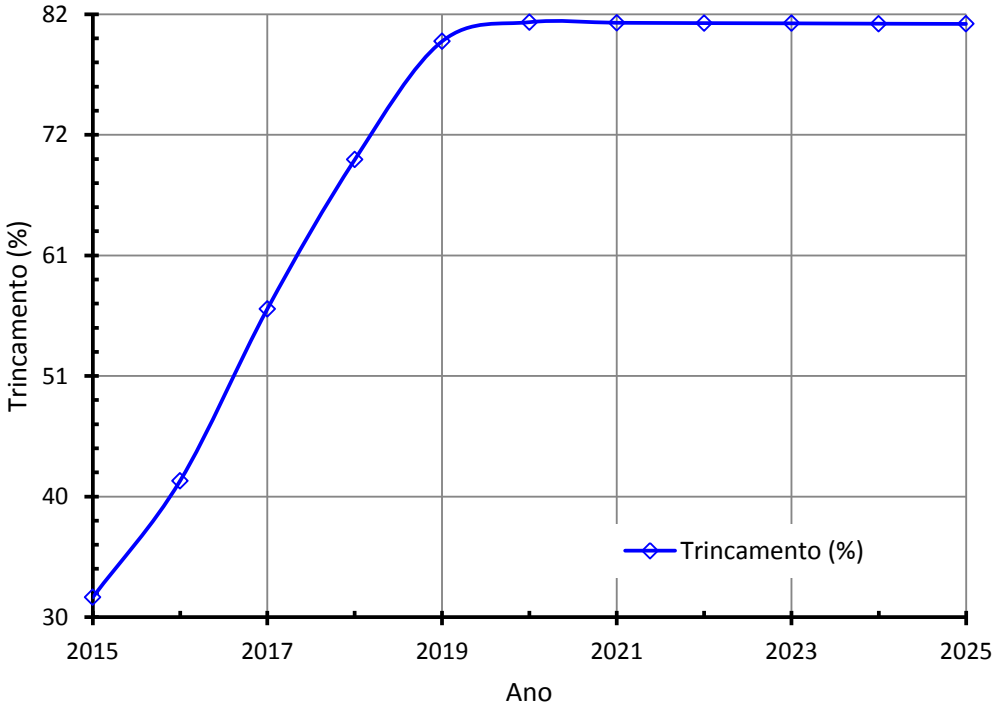


Figura UA07.2 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA07 (trincamento).

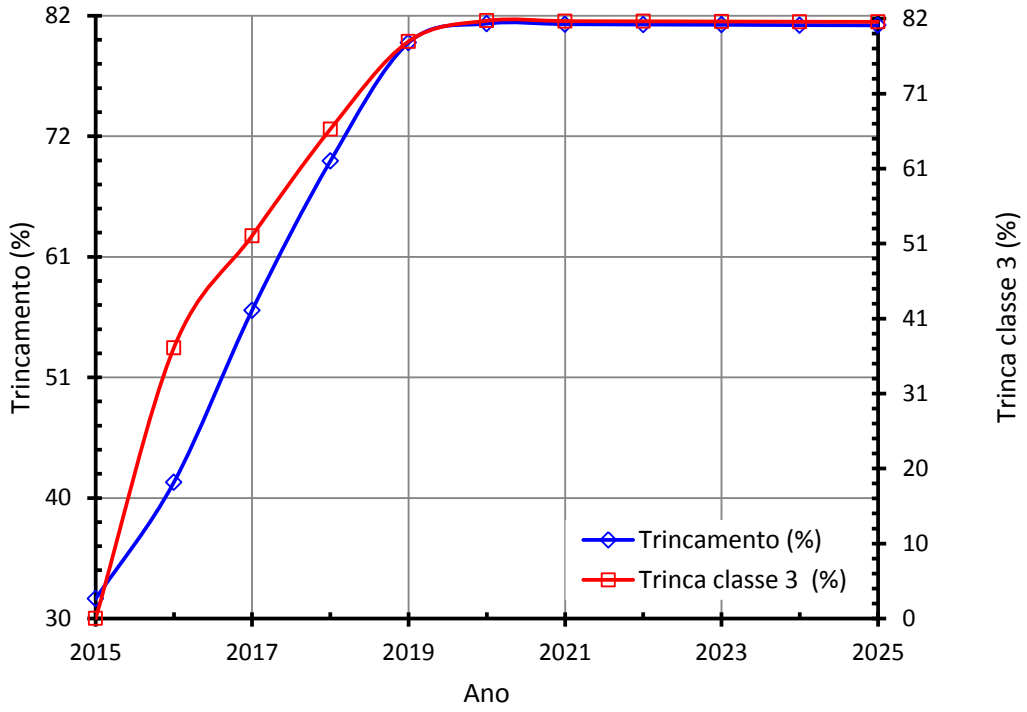


Figura UA07.3 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA07 (trincamento e trinca classe 3).

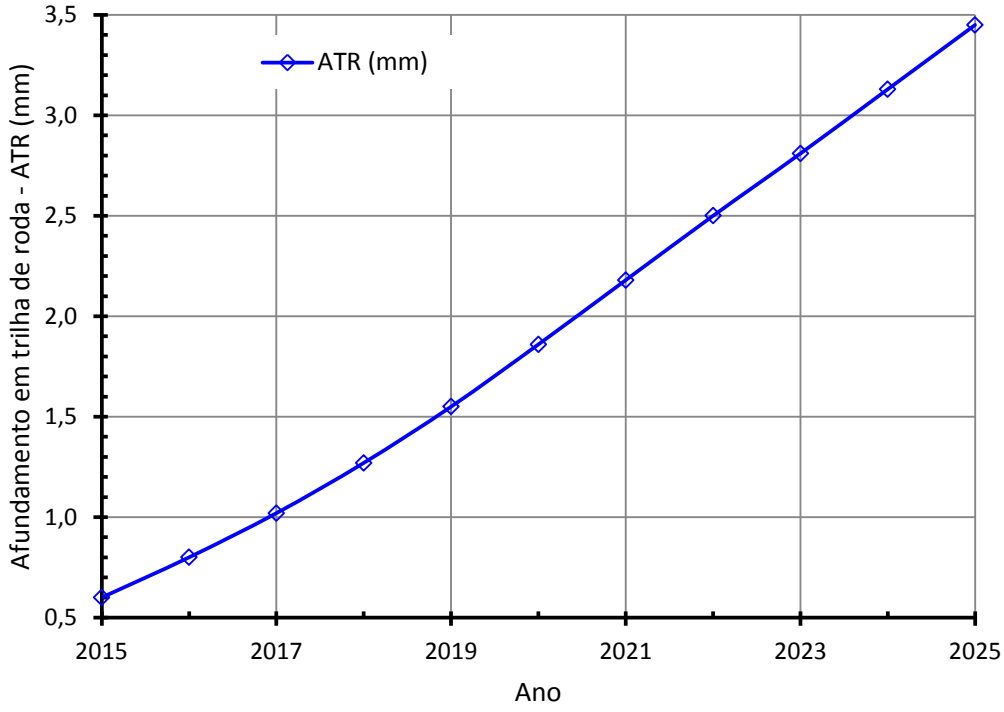


Figura UA07.4 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento da UA07 (afundamento em trilhas de roda ATR).

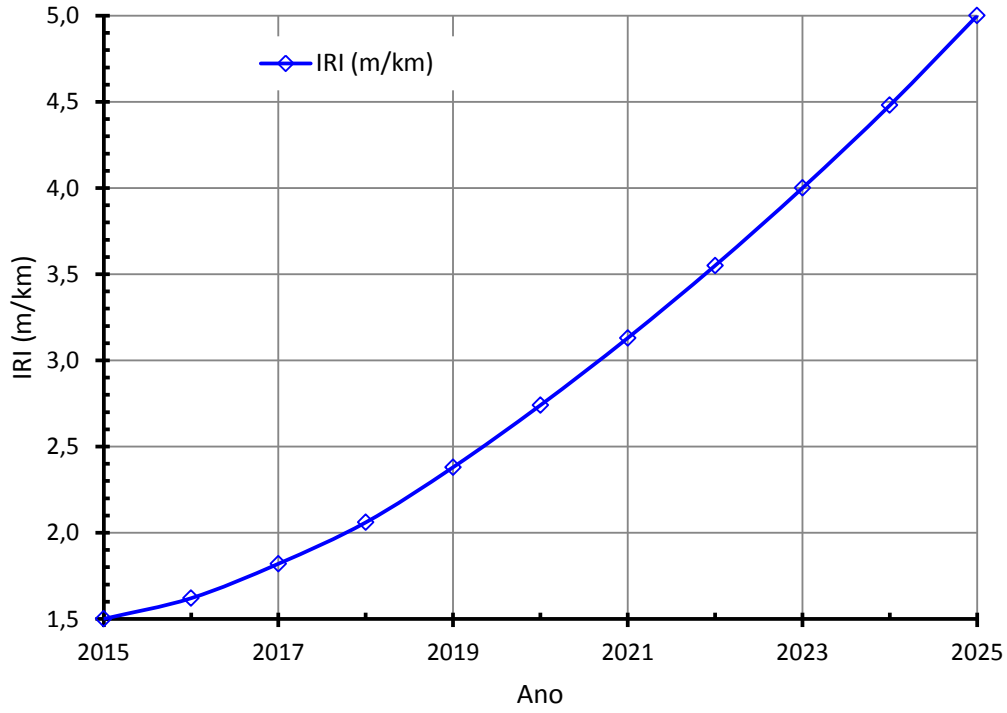


Figura UA07.5 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA07 (irregularidade longitudinal IRI).

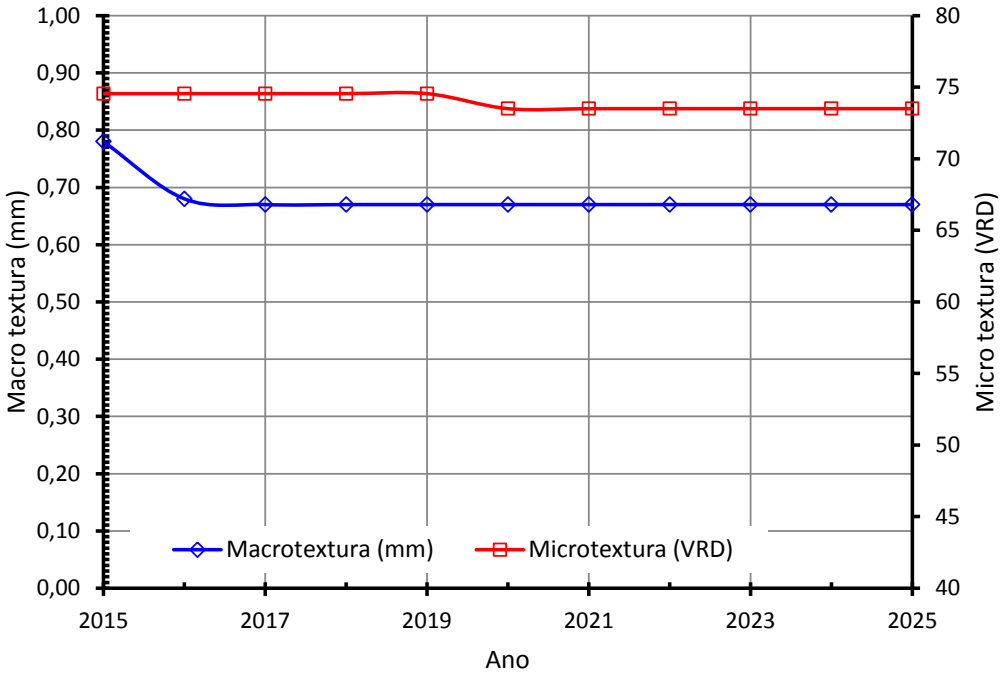


Figura UA07.6 – Curvas de previsão de desempenho da condição de aderência do pavimento da UA07 (macro e micro texturas).

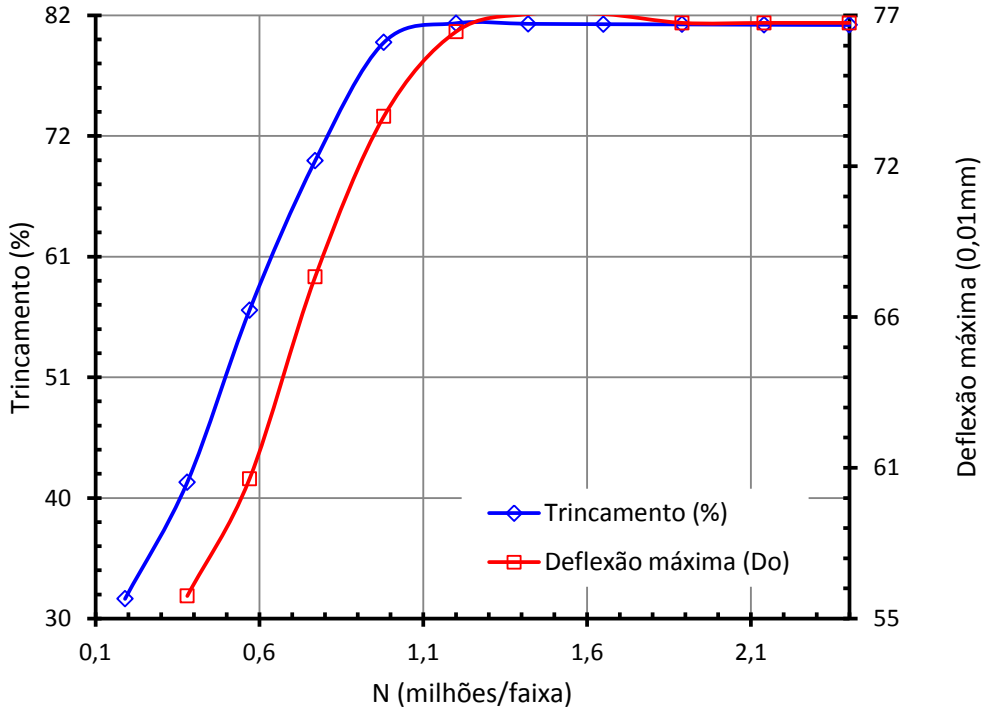


Figura UA07.7 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA07 (deflexão máxima e trincamento).

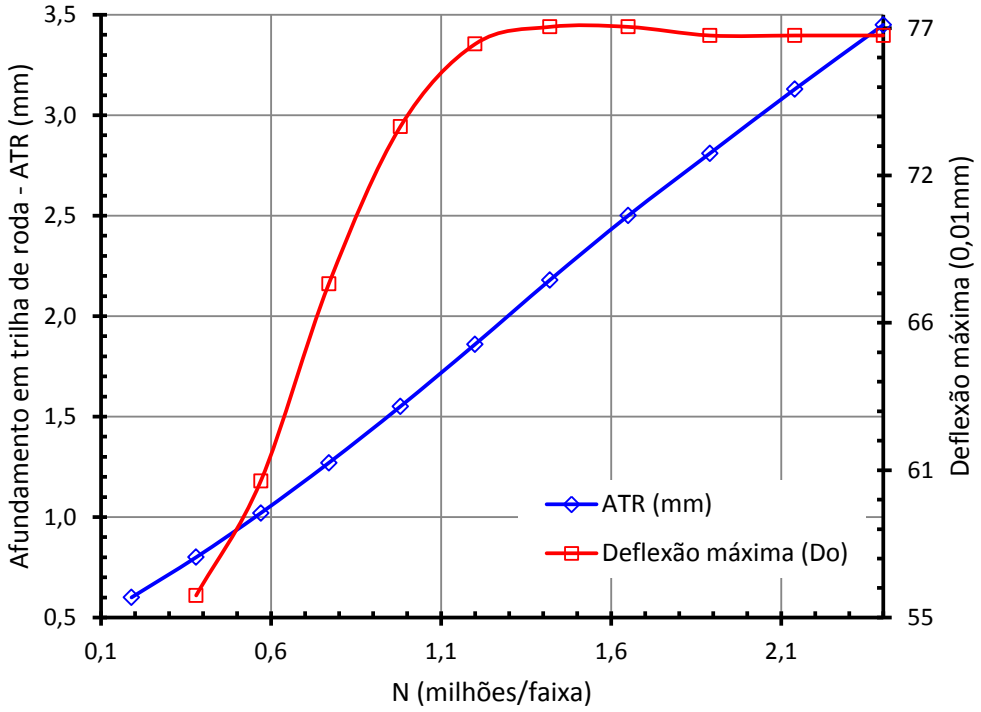


Figura UA07.8 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA07 (deflexão máxima e afundamento em trilhas de roda ATR).

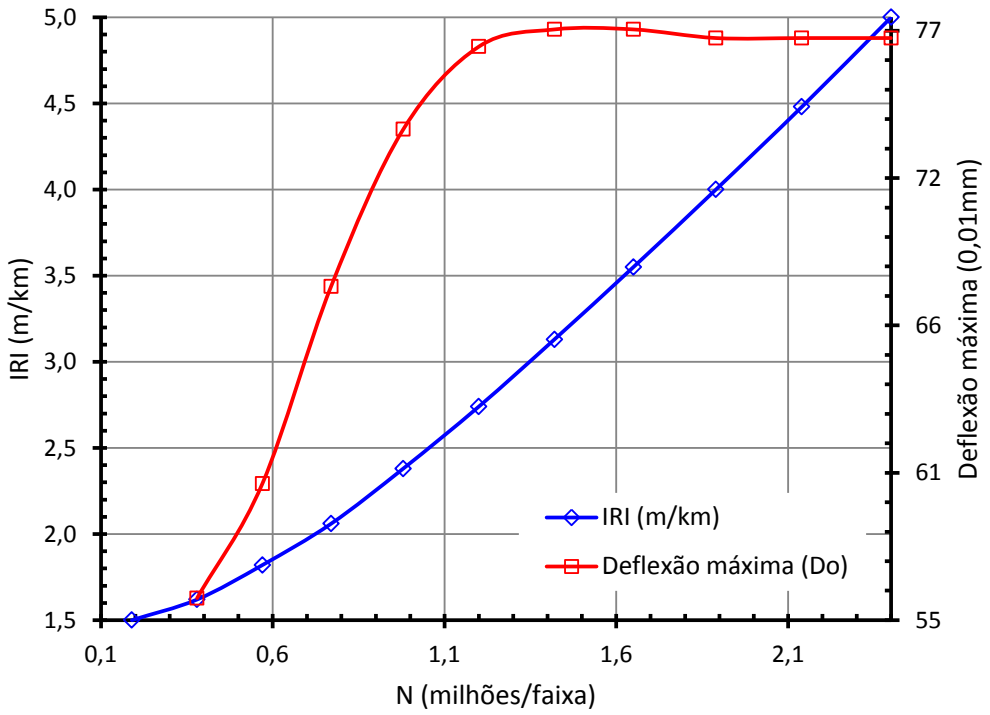


Figura UA07.9 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA07 (deflexão máxima e irregularidade longitudinal IRI).

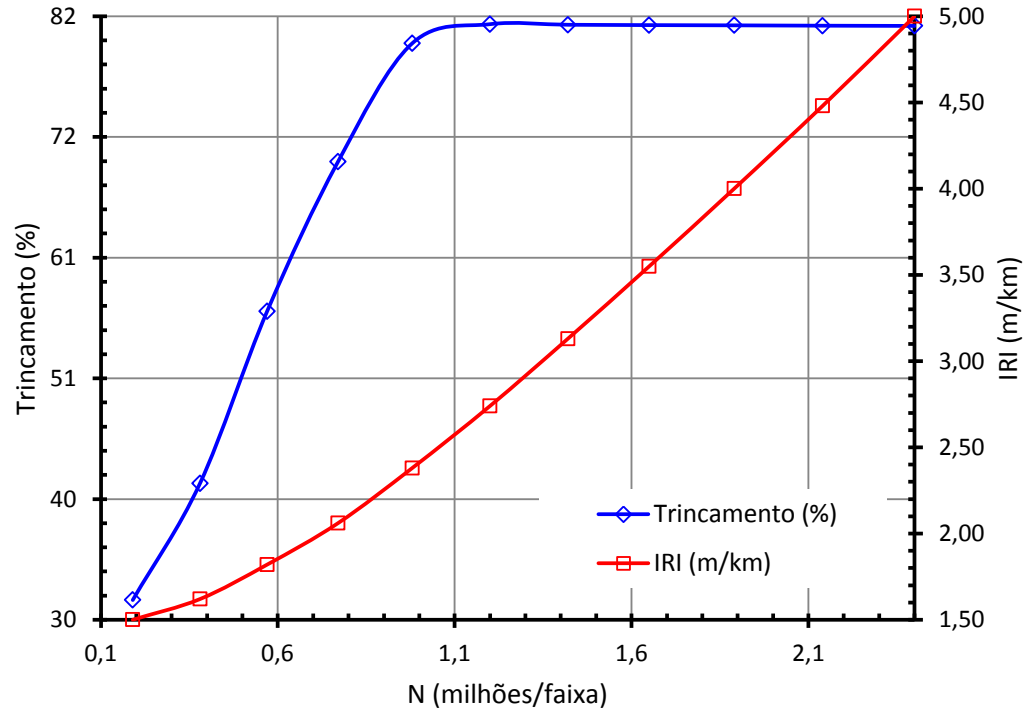


Figura UA07.10 – Curvas de previsão de desempenho das condições funcionais do pavimento da UA07 (trincamento e irregularidade longitudinal IRI).

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **VIA-040 UA08**
Run Date: **10-05-2016**

Section Details:

ID: UA08
Length: 2,00km
Description: ConselheiroLafaiete644,550ao646,550
Width: 3,50m
Rise + Fall: 28,00m/km
Road Class: Primary or Trunk
Curvature: 53,33deg/km
Alternative: Base Alternative

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm)	Std. Dev of Rut Depth		
2016	5704	0,15	Before works	AMGB	3,86	1.80	17,14	0,00	0,00	17,14	0,00	0	0,00	482.93	0,91	0,79	0,56	0,55
			After works	AMGB	3,86	1,80	17,14	0,00	0,00	17,14	0,00	0	0,00	482.93	0,91	0,79	0,56	0,55
2017	5904	0,15	Before works	AMGB	3,78	1.94	26,33	0,00	0,00	26,33	0,00	0	0,00	630.00	1,13	0,97	0,56	0,55
			After works	AMGB	3,78	1,94	26,33	0,00	0,00	26,33	0,00	0	0,00	630.00	1,13	0,97	0,56	0,55
2018	6110	0,16	Before works	AMGB	3,64	2.10	38,76	0,00	0,00	38,76	0,00	0	0,00	630.00	1,37	1,16	0,56	0,55
			After works	AMGB	3,64	2,10	38,76	0,00	0,00	38,76	0,00	0	0,00	630.00	1,37	1,16	0,56	0,55
2019	6324	0,16	Before works	AMGB	3,45	2.29	53,72	4,01	0,00	53,72	0,00	0	0,00	630.00	1,62	1,35	0,56	0,55
			After works	AMGB	3,45	2,29	53,72	4,01	0,00	53,72	0,00	0	0,00	630.00	1,62	1,35	0,56	0,55
2020	6545	0,17	Before works	AMGB	3,20	2.48	67,53	10,97	0,00	67,53	0,00	0	0,00	630.00	1,91	1,57	0,56	0,55
			After works	AMGB	3,20	2,48	67,53	10,97	0,00	67,53	0,00	0	0,00	630.00	1,91	1,57	0,56	0,55
2021	6774	0,18	Before works	AMGB	2,94	2.67	78,71	20,79	0,00	78,71	0,00	0	0,00	630.00	2,22	1,80	0,56	0,55
			After works	AMGB	2,94	2,67	78,71	20,79	0,00	78,71	0,00	0	0,00	630.00	2,22	1,80	0,56	0,55
2022	7012	0,18	Before works	AMGB	2,71	2.83	82,00	33,25	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	2,57	2,05	0,56	0,54
			After works	AMGB	2,71	2,83	82,00	33,25	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	2,57	2,05	0,56	0,54
2023	7257	0,19	Before works	AMGB	2,60	3.05	81,83	48,05	0,00	81,83	0,00	60	0,17	630.00	2,93	2,29	0,56	0,54
			After works	AMGB	2,60	2,99	81,83	48,05	0,00	81,83	0,00	0	0,00	630.00	2,93	2,29	0,56	0,54
2024	7511	0,20	Before works	AMGB	2,60	3.27	81,75	63,29	0,00	81,75	0,00	89	0,25	630.00	3,31	2,54	0,56	0,54
			After works	AMGB	2,60	3,17	81,75	63,29	0,00	81,75	0,00	0	0,00	630.00	3,31	2,54	0,56	0,54

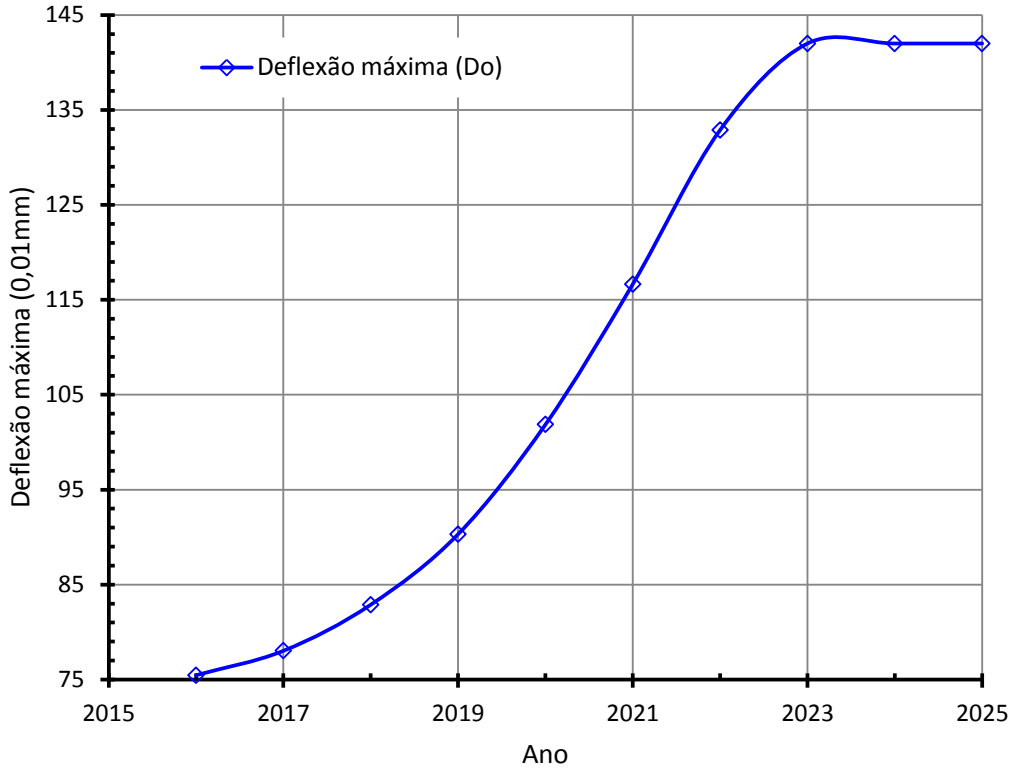


Figura UA08.1 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento da UA08 (deflexão máxima).

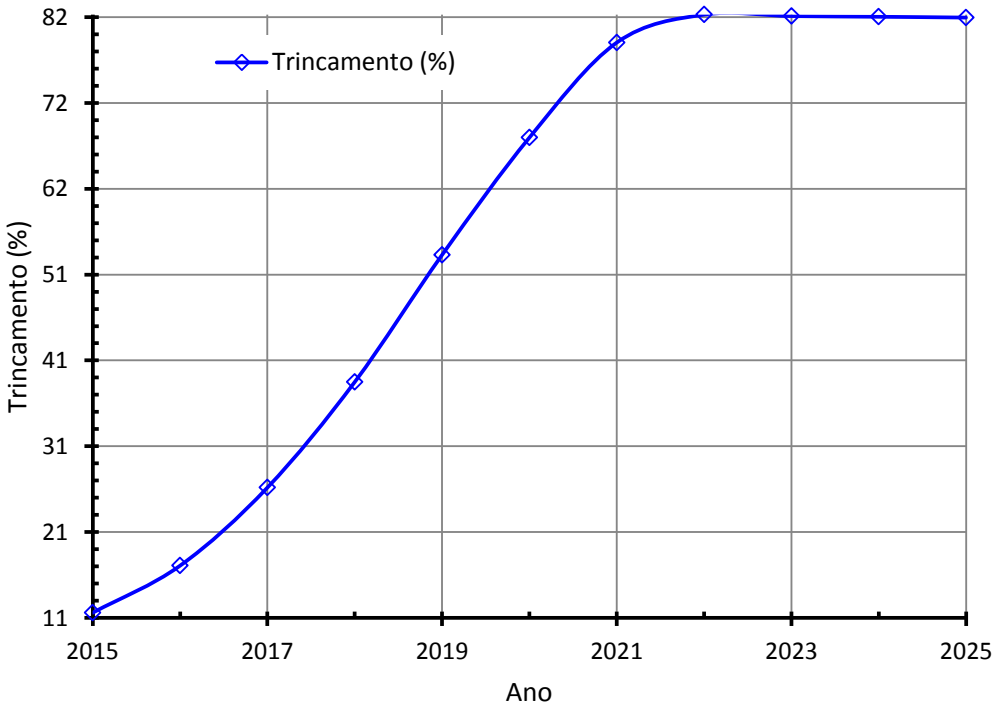


Figura UA08.2 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA08 (trincamento).

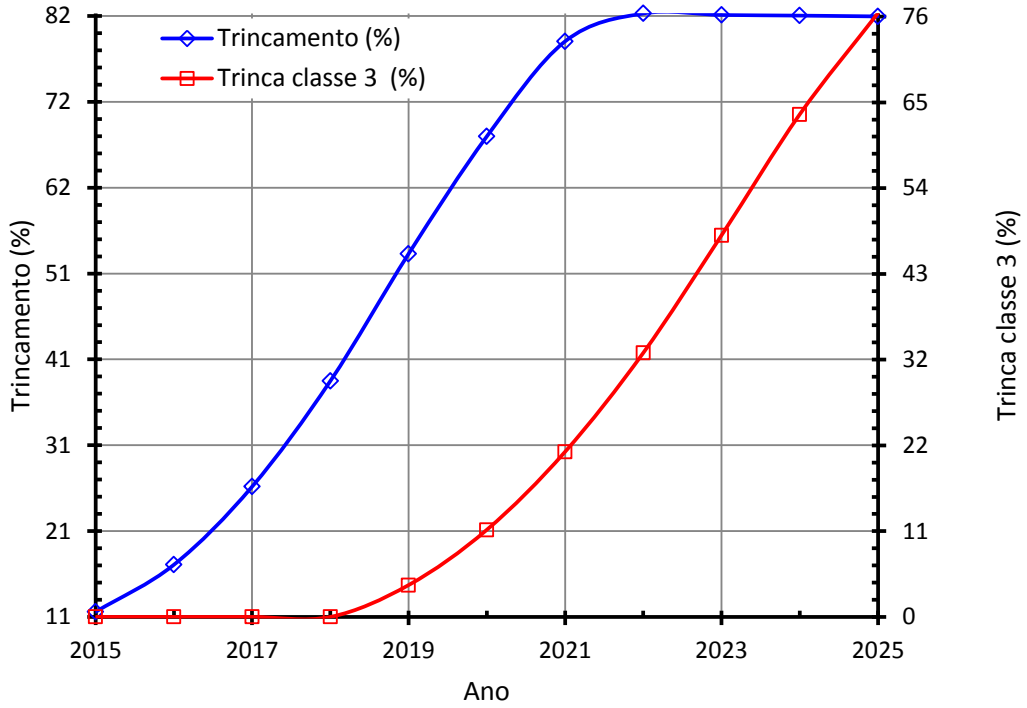


Figura UA08.3 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA08 (trincamento e trinca classe 3).

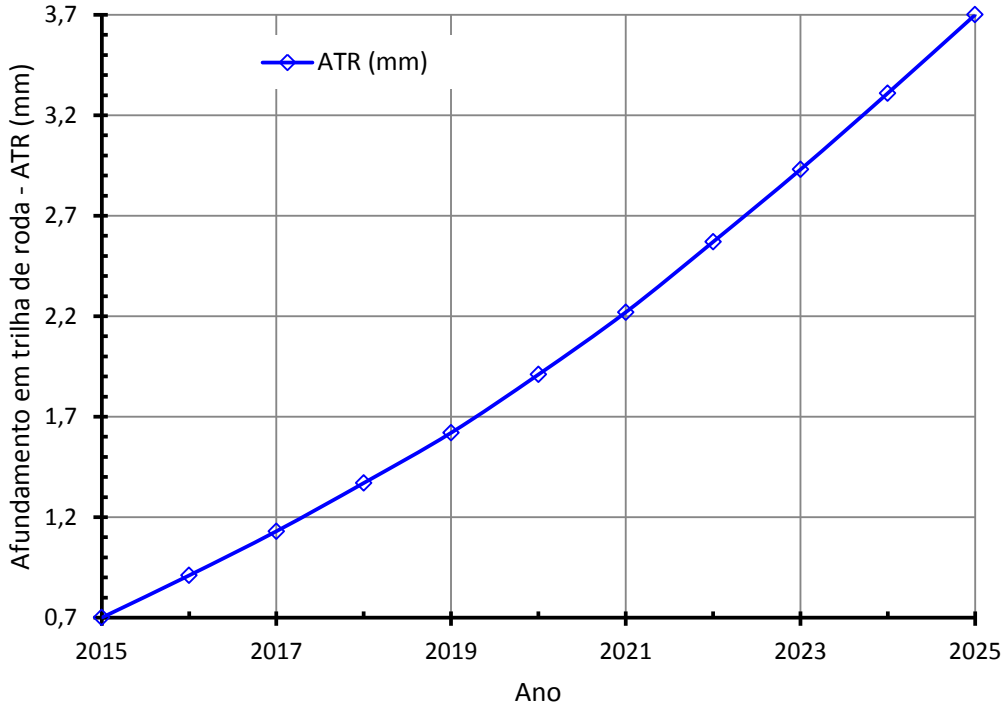


Figura UA08.4 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento da UA08 (afundamento em trilhas de roda ATR).

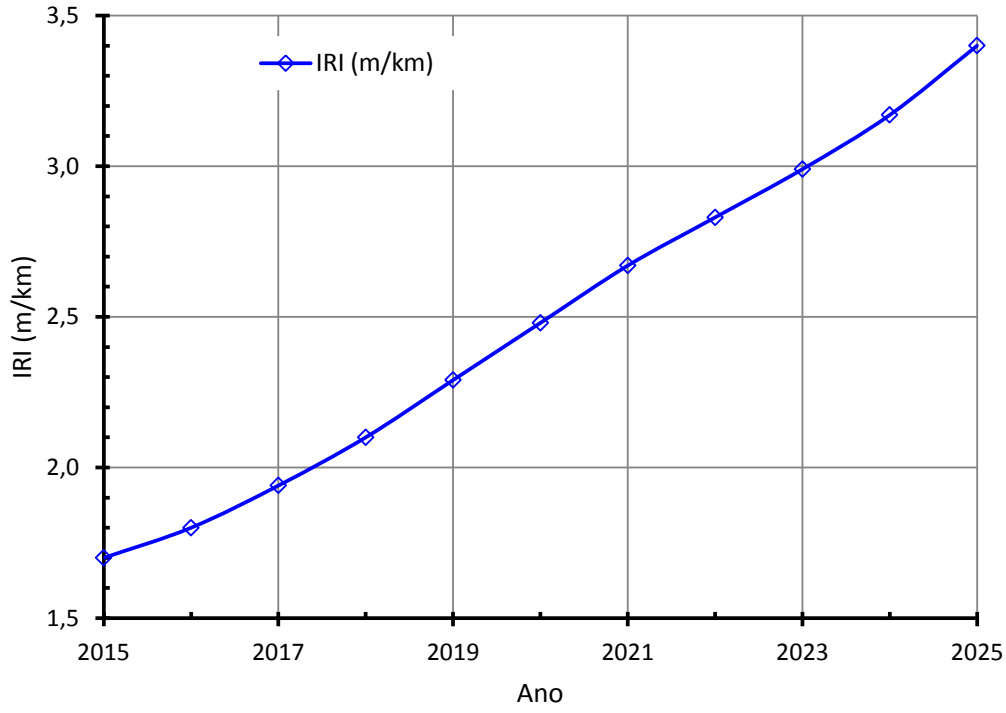


Figura UA08.5 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA08 (irregularidade longitudinal IRI).

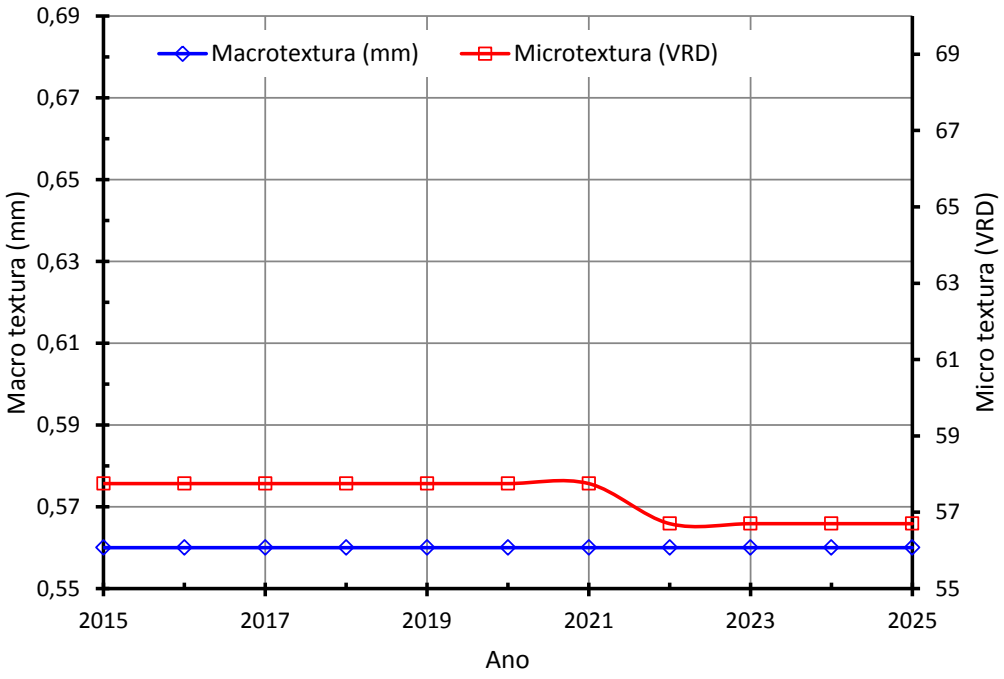


Figura UA08.6 – Curvas de previsão de desempenho da condição de aderência do pavimento da UA08 (macro e micro texturas).

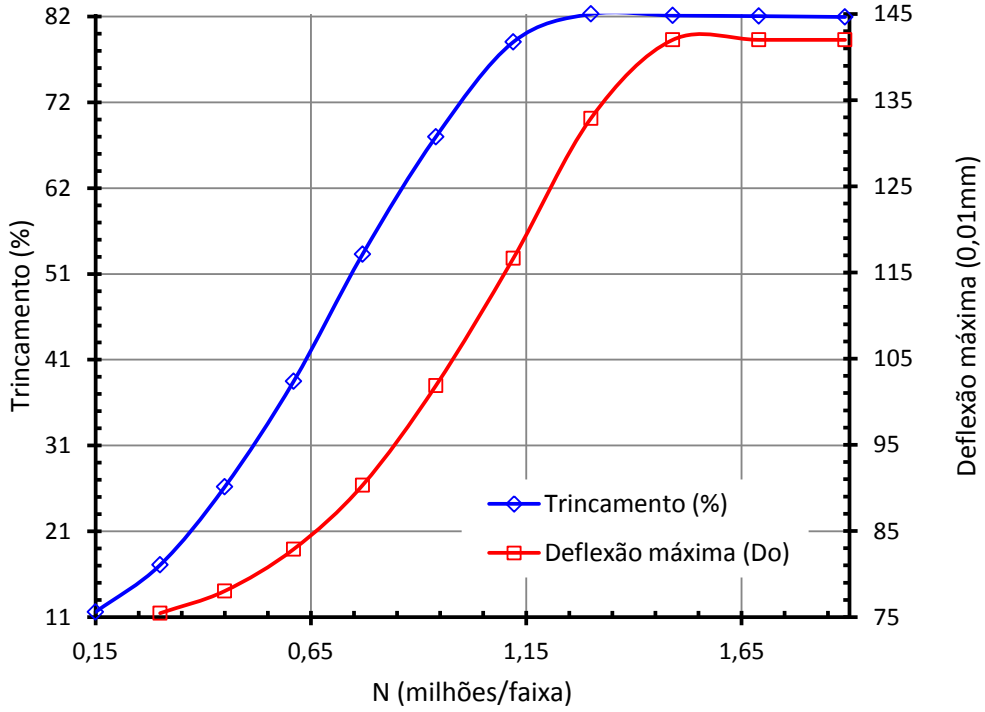


Figura UA08.7 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA08 (deflexão máxima e trincamento).

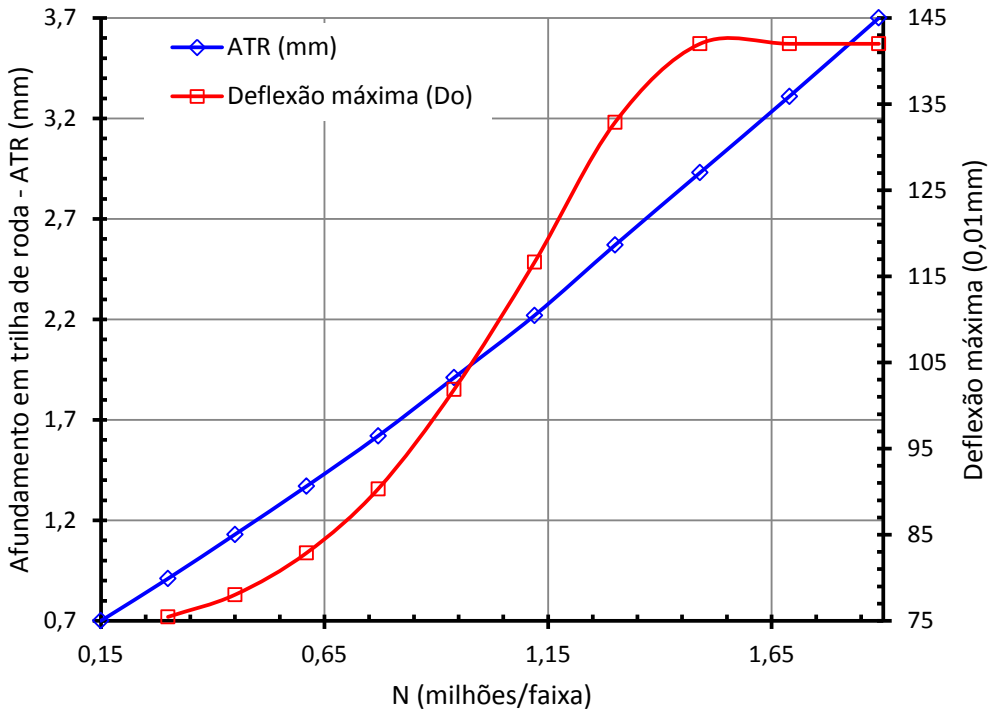


Figura UA08.8 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA08 (deflexão máxima e afundamento em trilhas de roda ATR).

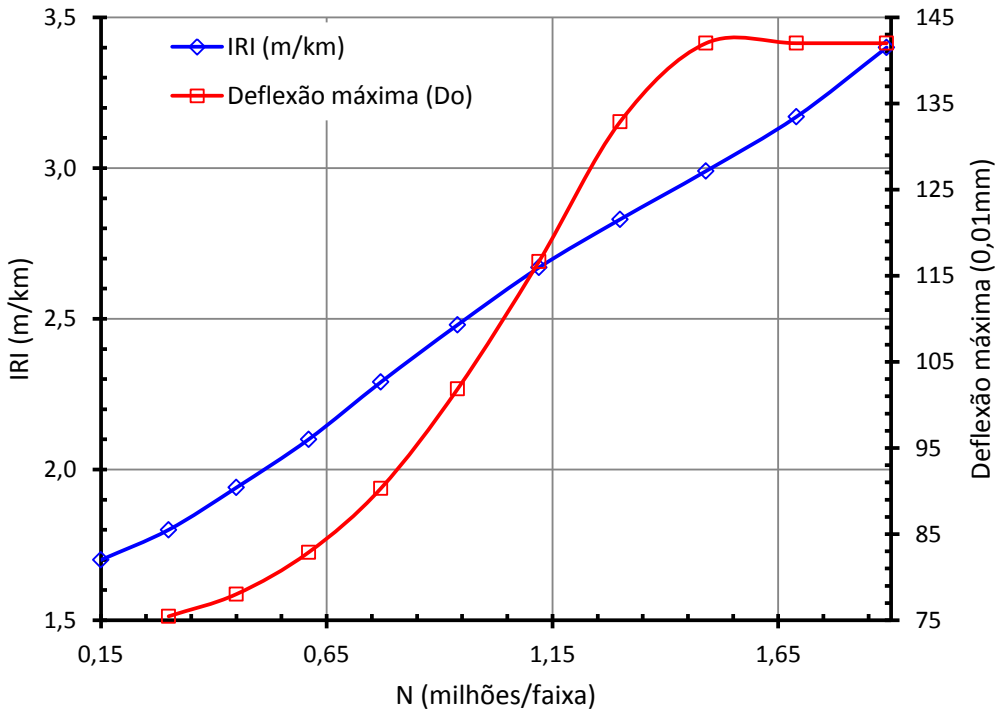


Figura UA08.9 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA08 (deflexão máxima e irregularidade longitudinal IRI).

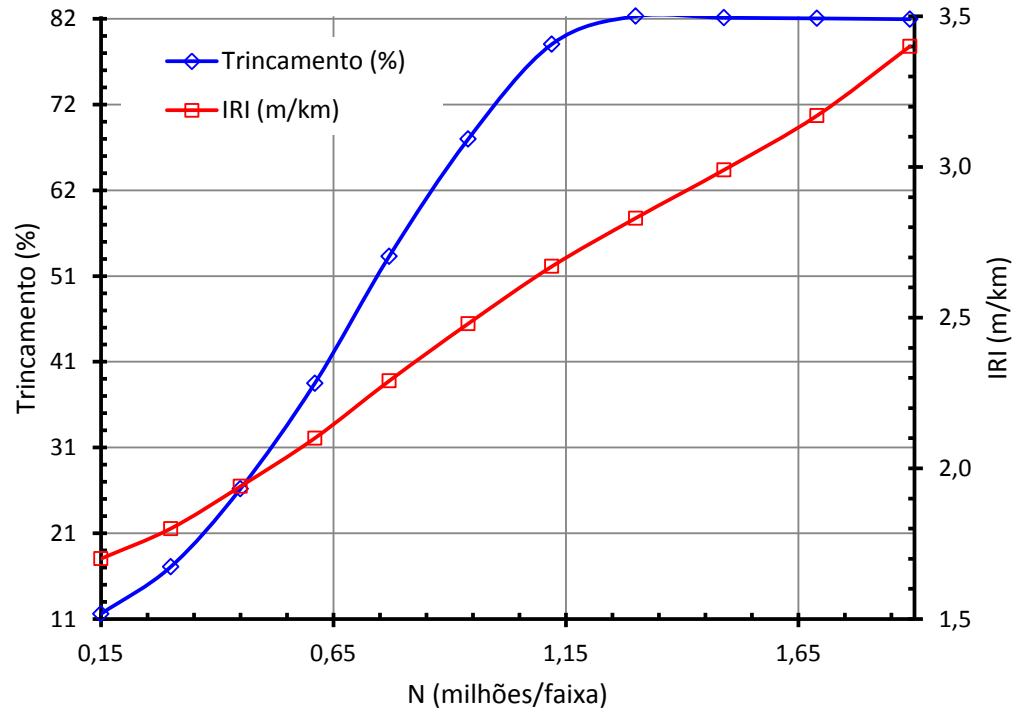


Figura UA08.10 – Curvas de previsão de desempenho das condições funcionais do pavimento da UA08 (trincamento e irregularidade longitudinal IRI).

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **VIA-040 UA09**
Run Date: **10-05-2016**

Section Details:

ID: UA09
Length: 3,51km
Description: Barbacena705,889ao709,400
Width: 3,50m
Rise + Fall: 26,87m/km
Road Class: Primary or Trunk
Curvature: 106,82deg/km
Alternative: Base Alternative

					Bituminous Pavement														
					End of Year Condition														
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm) RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2016	4715	0,18	Before works	AMGB	5,47	2.71	11,35	0,00	0,00	11,35	0,00	0	0,00	330.06	1,85	1,53	0,49	0,53
			After works	AMGB	5,47	2,71	11,35	0,00	0,00	11,35	0,00	0	0,00	330.06	1,85	1,53	0,49	0,53
2017	4881	0,19	Before works	AMGB	5,40	2.83	17,85	0,00	0,00	17,85	0,00	0	0,00	630.00	2,00	1,64	0,49	0,53
			After works	AMGB	5,40	2,83	17,85	0,00	0,00	17,85	0,00	0	0,00	630.00	2,00	1,64	0,49	0,53
2018	5051	0,20	Before works	AMGB	5,29	2.99	28,09	0,00	0,00	28,09	0,00	0	0,00	630.00	2,16	1,76	0,49	0,53
			After works	AMGB	5,29	2,99	28,09	0,00	0,00	28,09	0,00	0	0,00	630.00	2,16	1,76	0,49	0,53
2019	5228	0,20	Before works	AMGB	5,12	3.17	40,92	0,00	0,00	40,92	0,00	0	0,00	630.00	2,33	1,88	0,49	0,53
			After works	AMGB	5,12	3,17	40,92	0,00	0,00	40,92	0,00	0	0,00	630.00	2,33	1,88	0,49	0,53
2020	5411	0,21	Before works	AMGB	4,91	3.36	56,03	1,13	0,00	56,03	0,00	0	0,00	630.00	2,52	2,01	0,49	0,53
			After works	AMGB	4,91	3,36	56,03	1,13	0,00	56,03	0,00	0	0,00	630.00	2,52	2,01	0,49	0,53
2021	5600	0,22	Before works	AMGB	4,65	3.56	69,43	5,97	0,00	69,43	0,00	0	0,00	630.00	2,72	2,15	0,49	0,52
			After works	AMGB	4,65	3,56	69,43	5,97	0,00	69,43	0,00	0	0,00	630.00	2,72	2,15	0,49	0,52
2022	5797	0,23	Before works	AMGB	4,40	3.75	80,21	13,90	0,00	80,21	0,00	0	0,00	630.00	2,95	2,31	0,49	0,52
			After works	AMGB	4,40	3,75	80,21	13,90	0,00	80,21	0,00	0	0,00	630.00	2,95	2,31	0,49	0,52
2023	5999	0,23	Before works	AMGB	4,18	3.88	82,00	24,61	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	3,21	2,48	0,49	0,52
			After works	AMGB	4,18	3,88	82,00	24,61	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	3,21	2,48	0,49	0,52
2024	6209	0,24	Before works	AMGB	4,10	4.06	81,86	37,78	0,00	81,86	0,00	48	0,14	630.00	3,47	2,64	0,49	0,52
			After works	AMGB	4,10	4,01	81,86	37,78	0,00	81,86	0,00	0	0,00	630.00	3,47	2,64	0,49	0,52

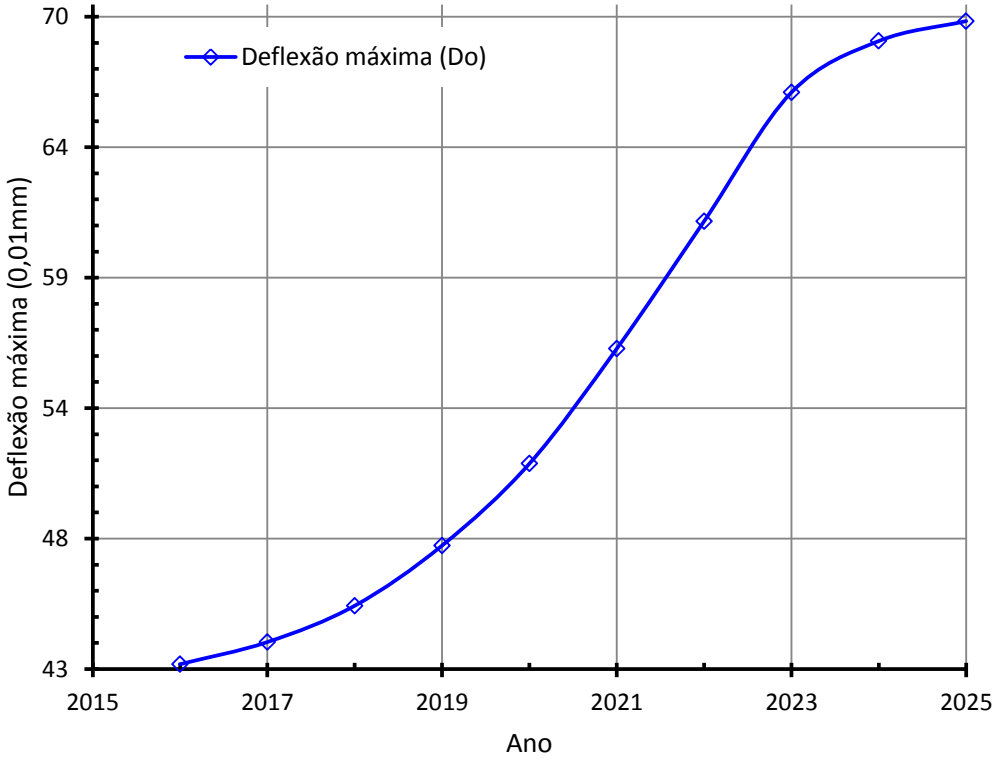


Figura UA09.1 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento da UA09 (deflexão máxima).

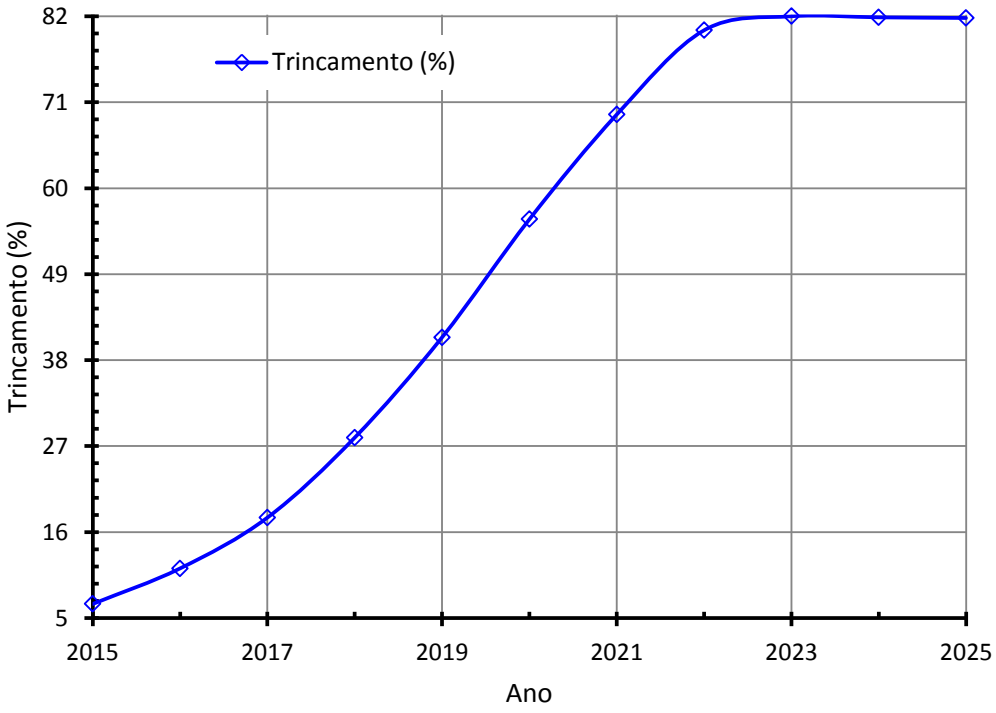


Figura UA09.2 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA09 (trincamento).

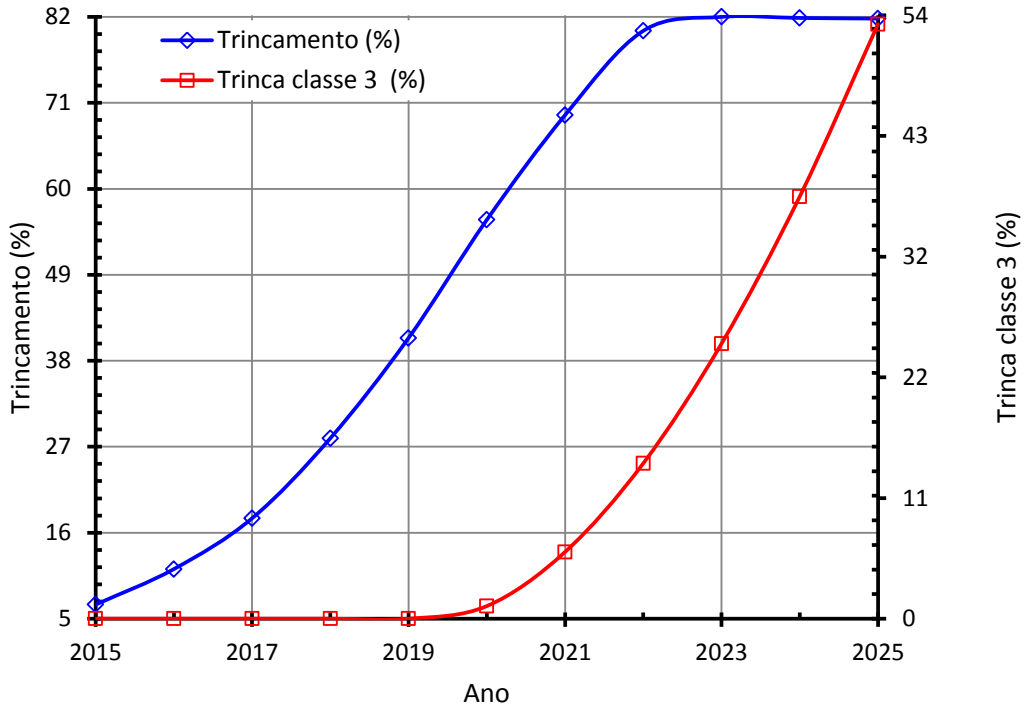


Figura UA09.3 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA09 (trincamento e trinca classe 3).

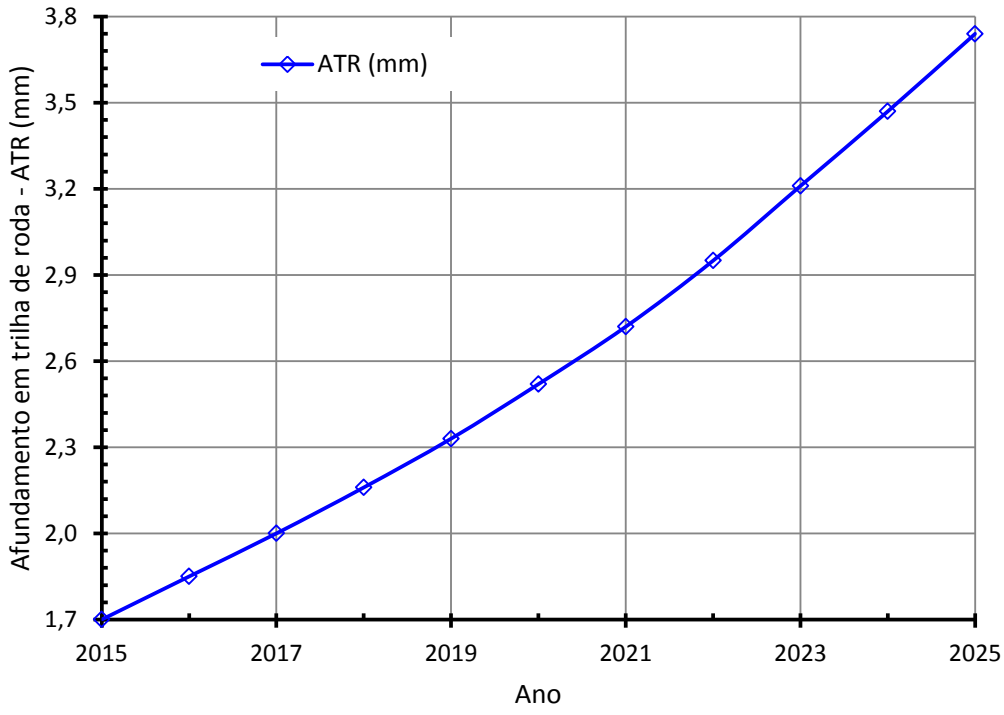


Figura UA09.4 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento da UA09 (afundamento em trilhas de roda ATR).

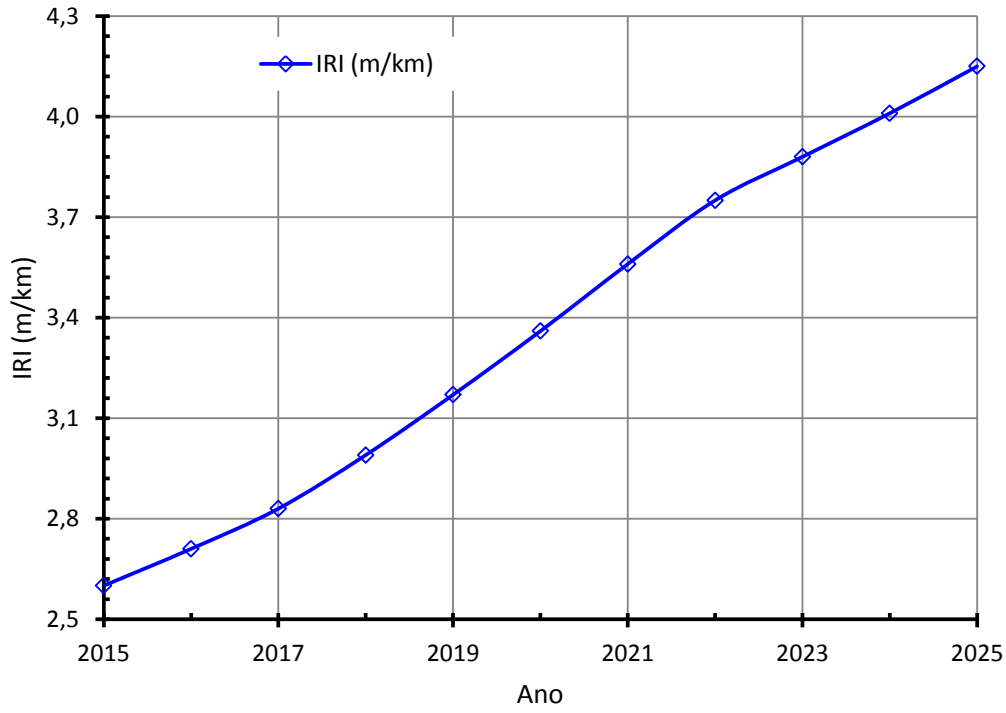


Figura UA09.5 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA09 (irregularidade longitudinal IRI).

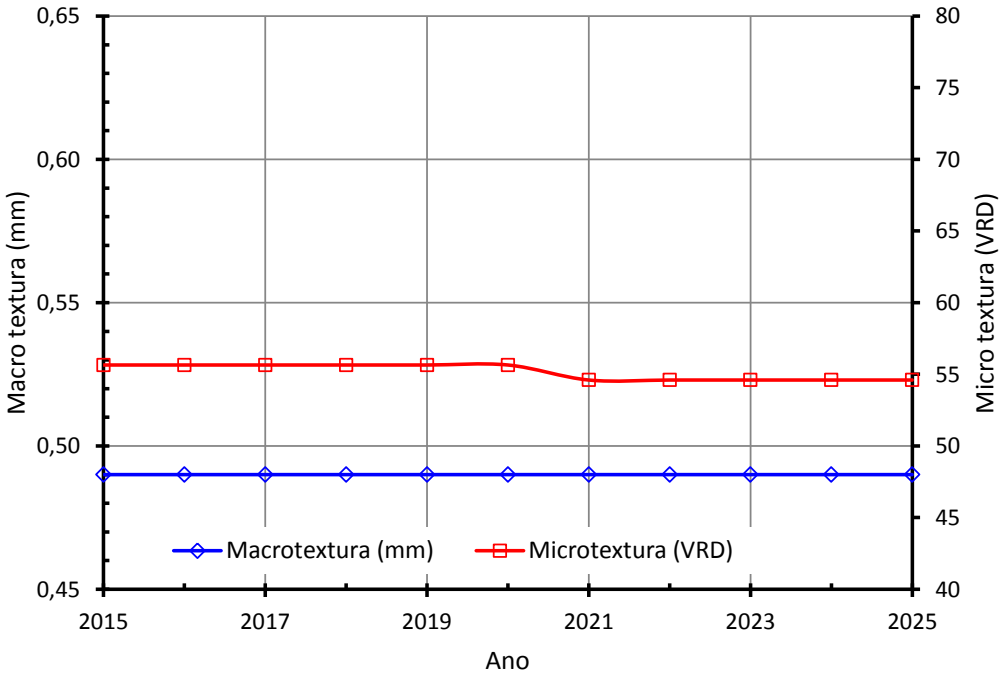


Figura UA09.6 – Curvas de previsão de desempenho da condição de aderência do pavimento da UA09 (macro e micro texturas).

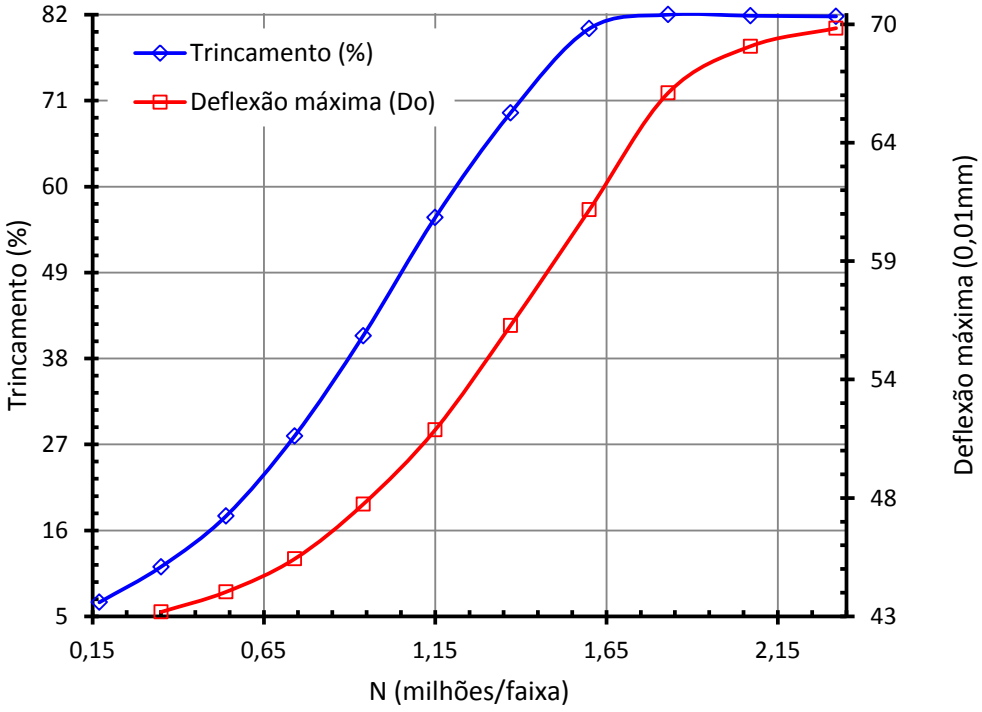


Figura UA09.7 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA09 (deflexão máxima e trincamento).

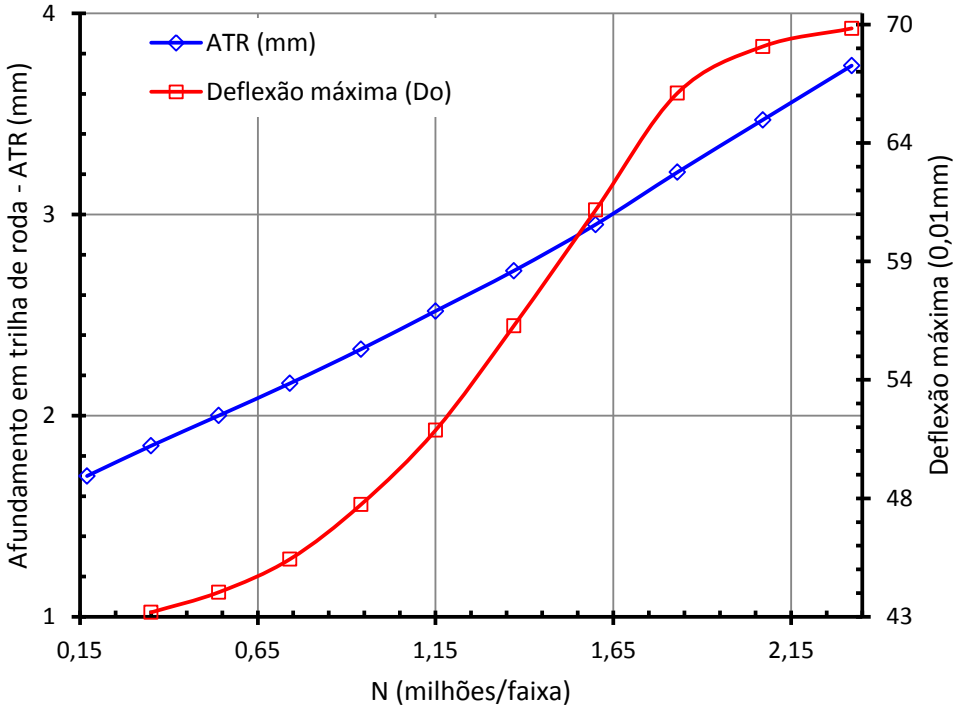


Figura UA09.8 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA09 (deflexão máxima e afundamento em trilhas de roda ATR).

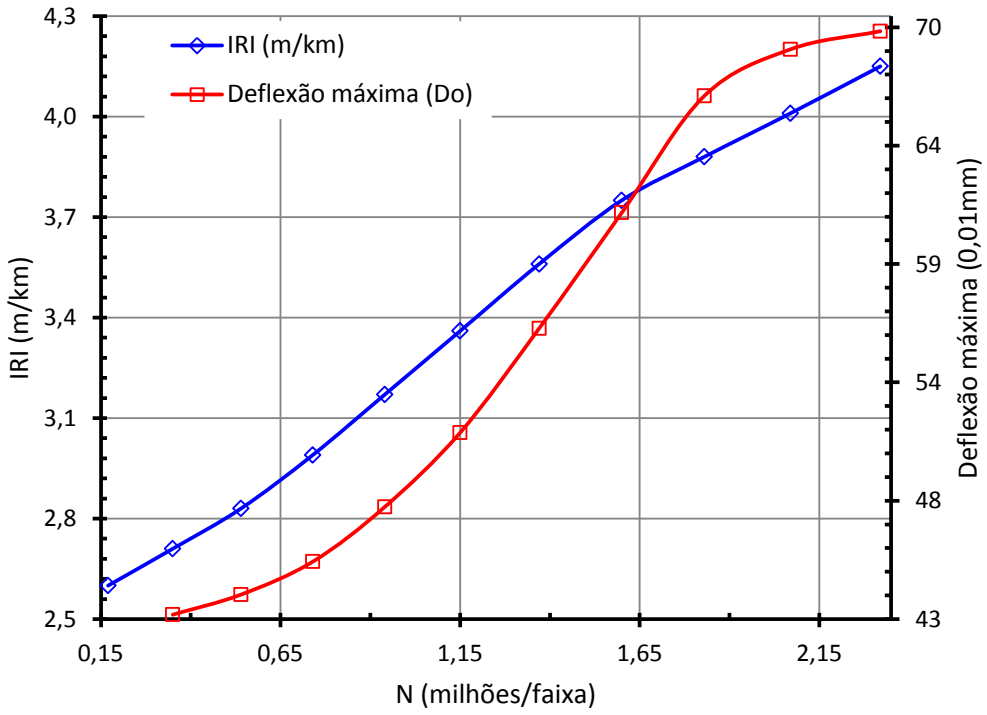


Figura UA09.9 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA09 (deflexão máxima e irregularidade longitudinal IRI).

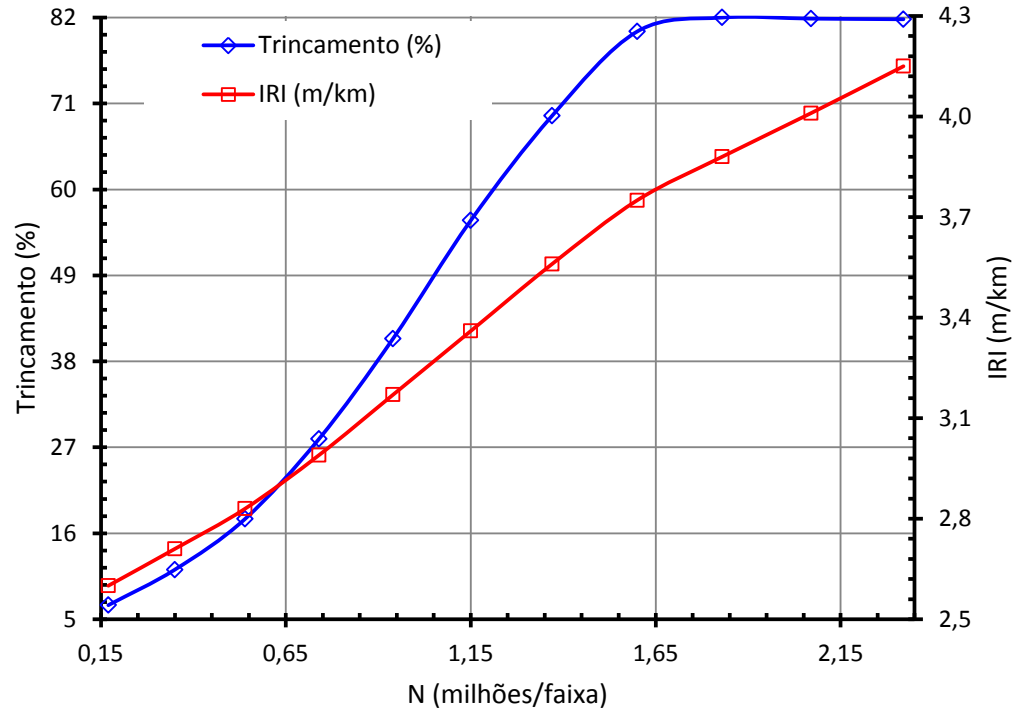


Figura UA09.10 – Curvas de previsão de desempenho das condições funcionais do pavimento da UA09 (trincamento e irregularidade longitudinal IRI).

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Pavement Condition (Bituminous Pavements)

Study Name: **VIA-040 UA10**
Run Date: **10-05-2016**

Section Details:

ID: UA10
Length: 3,20km
Description: JuizdeFora766,500ao769,700
Width: 3,50m
Rise + Fall: 26,87m/km
Road Class: Primary or Trunk
Curvature: 106,82deg/km
Alternative: Base Alternative

					Bituminous Pavement													
					End of Year Condition													
Year	MT AADT	ESAL (millions/Elane) YE4		Pavement Type	Average Structural Number SNPK	Roughness IRI (m/km) RI	Cracking Area (%)				Ravelled Area (%) ARV	Potholes		Edge-break Area (m²/km) AEB	Rutting		Texture Depth (mm) TD	Skid Resistance SFC50
							All Structural ACA	Wide Structural ACW	Transverse Thermal ACT	Total Cracking ACRA		Number per km NPT	Area (%) APOT		Mean Rut Depth (mm) RDM	Std. Dev of Rut Depth RDS		
2016	5125	0,17	Before works	AMGB	10,92	2.62	25,54	0,00	0,00	25,54	0,00	0	0,00	389.93	0,97	0,84	0,56	0,73
			After works	AMGB	10,92	2,62	25,54	0,00	0,00	25,54	0,00	0	0,00	389.93	0,97	0,84	0,56	0,73
2017	5305	0,18	Before works	AMGB	10,73	2.76	36,41	0,00	0,00	36,41	0,00	0	0,00	630.00	1,05	0,90	0,56	0,73
			After works	AMGB	10,73	2,76	36,41	0,00	0,00	36,41	0,00	0	0,00	630.00	1,05	0,90	0,56	0,73
2018	5490	0,18	Before works	AMGB	10,45	2.94	51,04	0,00	0,00	51,04	0,00	0	0,00	630.00	1,13	0,97	0,56	0,73
			After works	AMGB	10,45	2,94	51,04	0,00	0,00	51,04	0,00	0	0,00	630.00	1,13	0,97	0,56	0,73
2019	5683	0,19	Before works	AMGB	10,08	3.11	65,32	0,00	0,00	65,32	0,00	0	0,00	630.00	1,22	1,04	0,56	0,73
			After works	AMGB	10,08	3,11	65,32	0,00	0,00	65,32	0,00	0	0,00	630.00	1,22	1,04	0,56	0,73
2020	5881	0,19	Before works	AMGB	9,71	3.27	76,95	0,00	0,00	76,95	0,00	0	0,00	630.00	1,32	1,12	0,56	0,73
			After works	AMGB	9,71	3,27	76,95	0,00	0,00	76,95	0,00	0	0,00	630.00	1,32	1,12	0,56	0,73
2021	6087	0,20	Before works	AMGB	9,40	3.40	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	1,44	1,21	0,56	0,72
			After works	AMGB	9,40	3,40	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	1,44	1,21	0,56	0,72
2022	6300	0,21	Before works	AMGB	9,27	3.49	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	1,55	1,30	0,56	0,72
			After works	AMGB	9,27	3,49	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	1,55	1,30	0,56	0,72
2023	6521	0,22	Before works	AMGB	9,27	3.59	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	1,67	1,39	0,56	0,72
			After works	AMGB	9,27	3,59	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	1,67	1,39	0,56	0,72
2024	6749	0,22	Before works	AMGB	9,27	3.69	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	1,78	1,48	0,56	0,72
			After works	AMGB	9,27	3,69	82,00	0,00	0,00	82,00	0,00	0	0,00	630.00	1,78	1,48	0,56	0,72

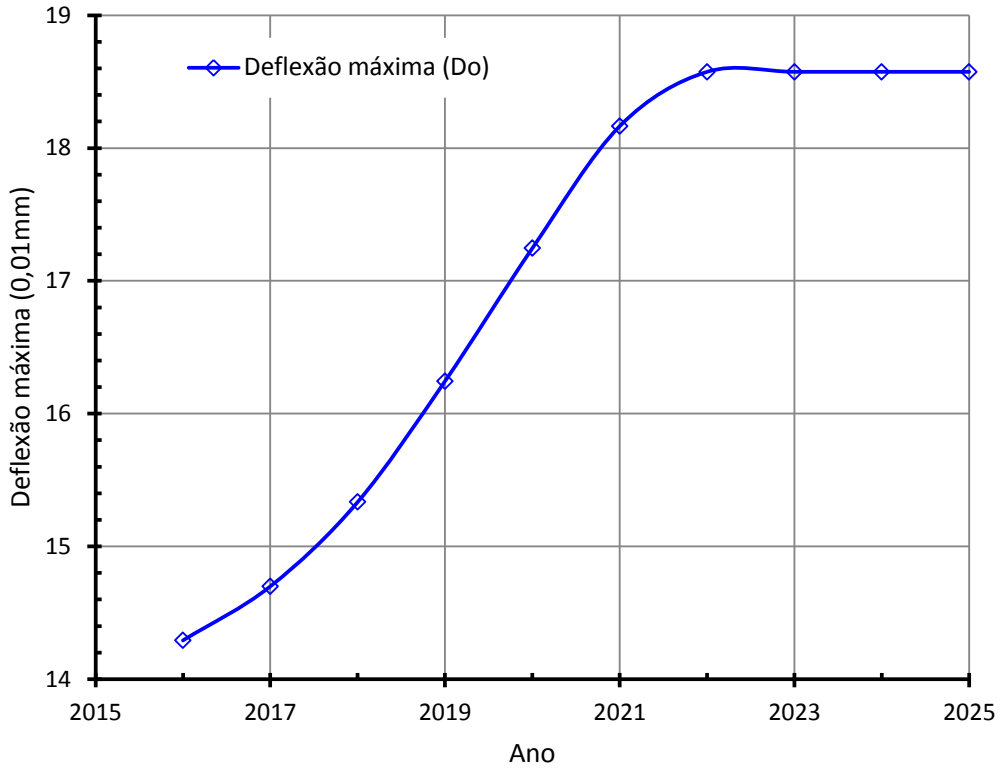


Figura UA10.1 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento da UA10 (deflexão máxima).

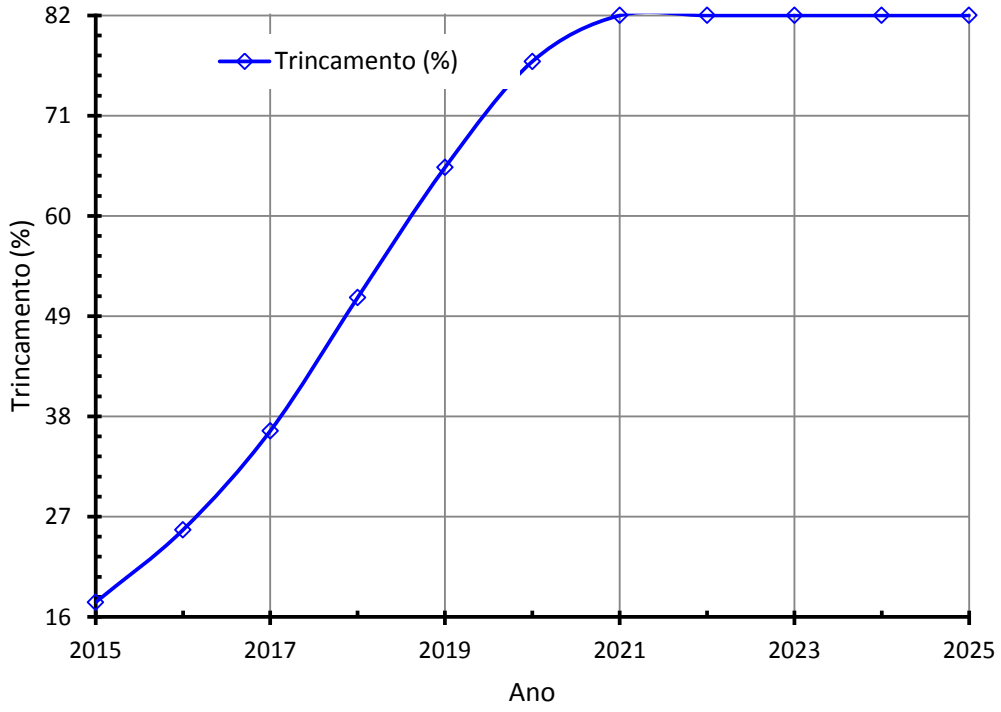


Figura UA10.2 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA10 (trincamento).

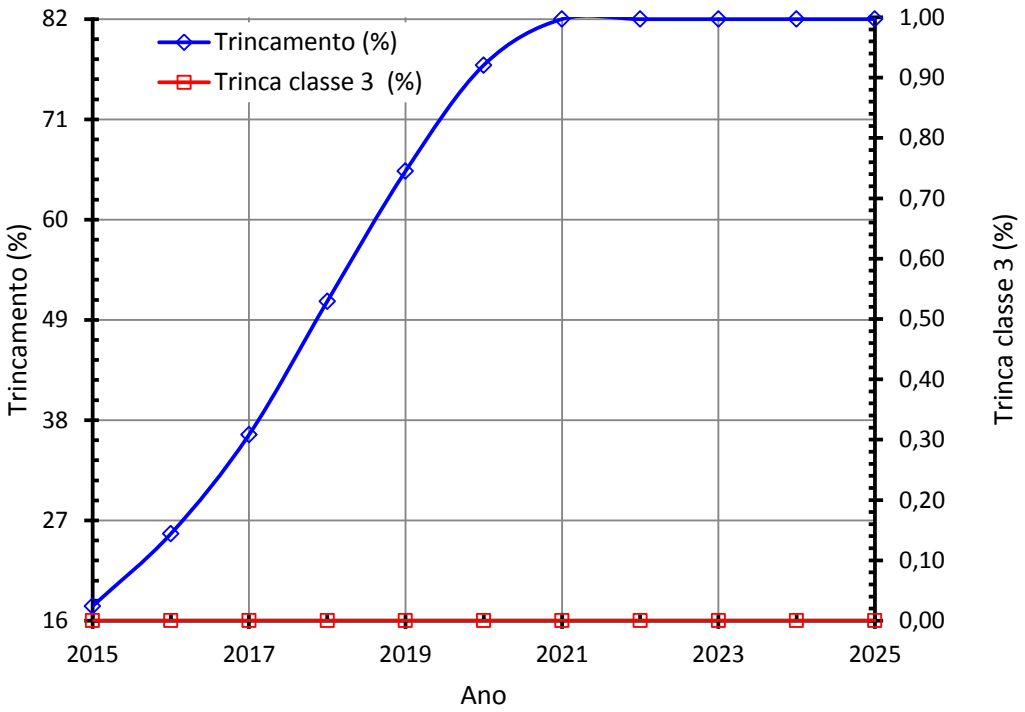


Figura UA10.3 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA10 (trincamento e trinca classe 3).

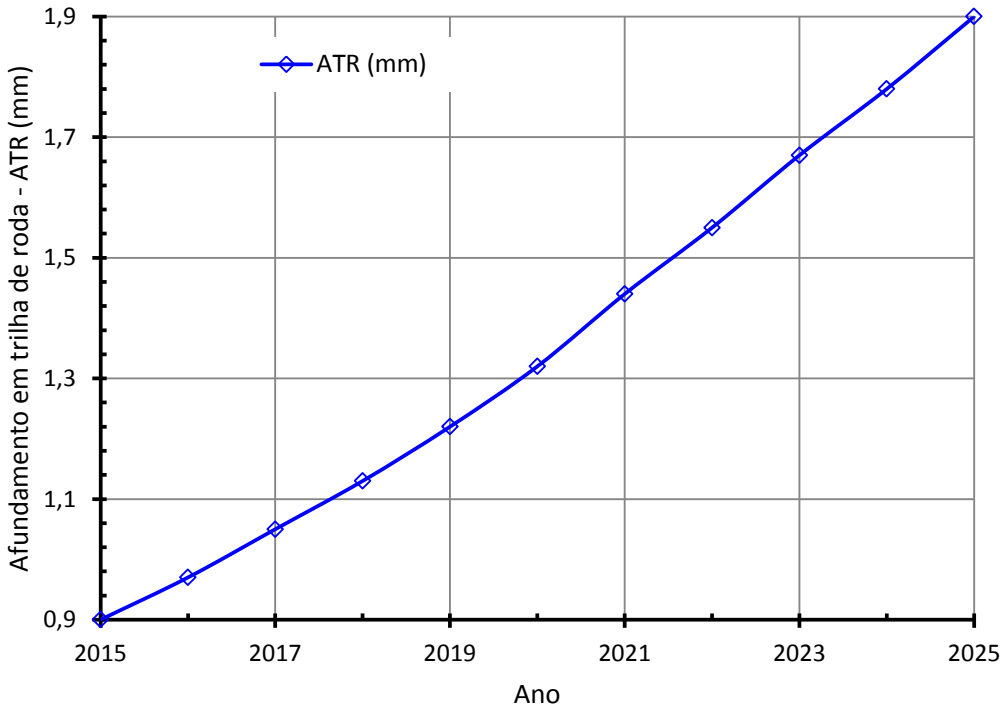


Figura UA10.4 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento da UA10 (afundamento em trilhas de roda ATR).

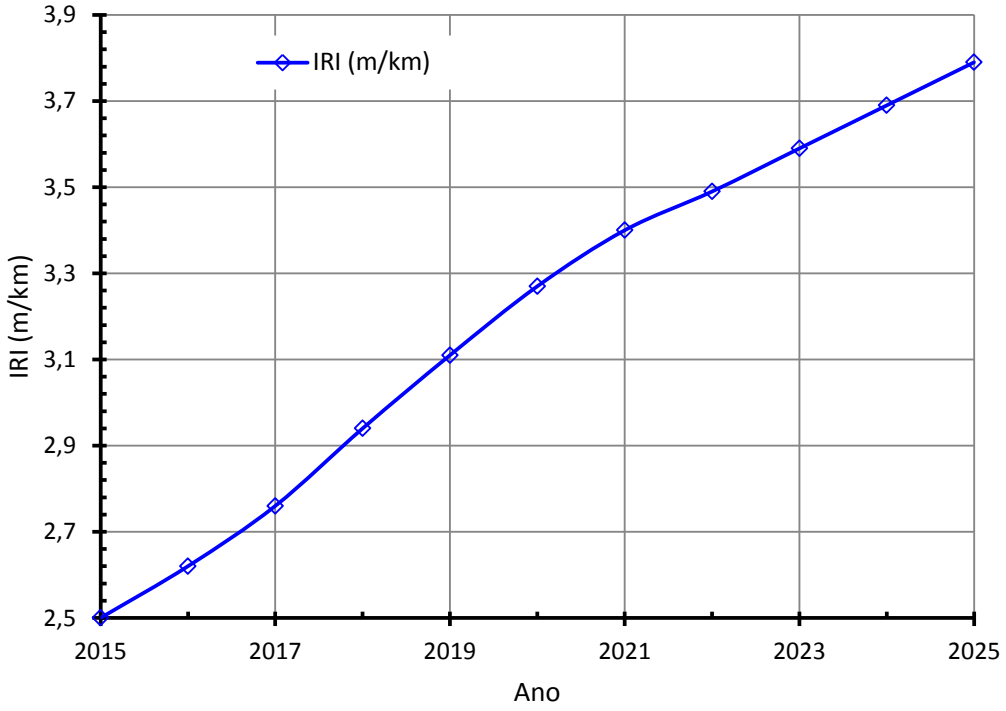


Figura UA10.5 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento da UA10 (irregularidade longitudinal IRI).

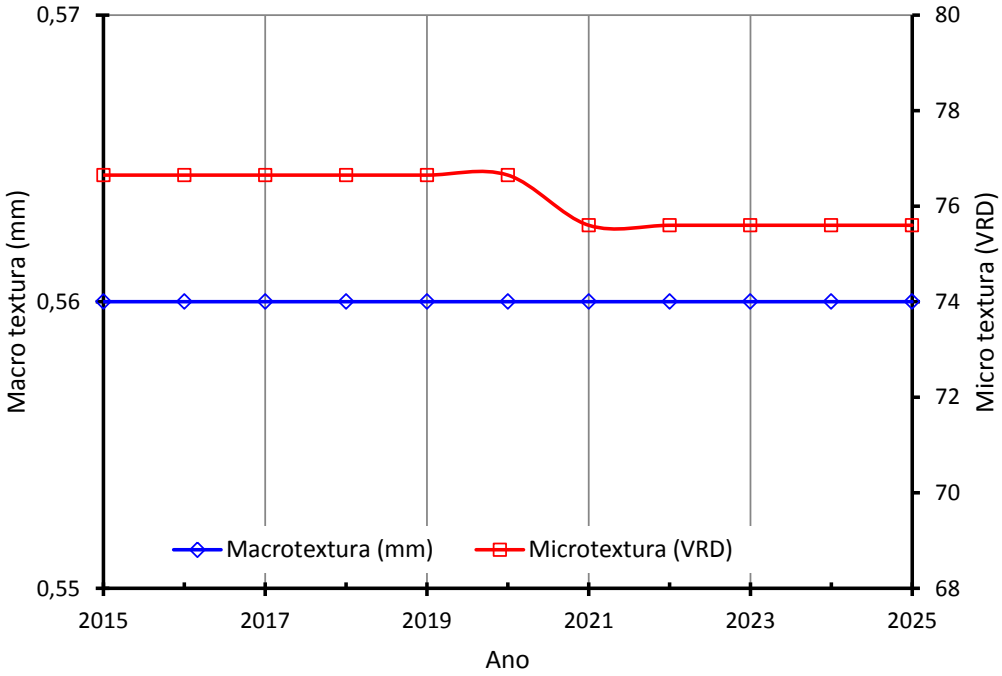


Figura UA10.6 – Curvas de previsão de desempenho da condição de aderência do pavimento da UA10 (macro e micro texturas).

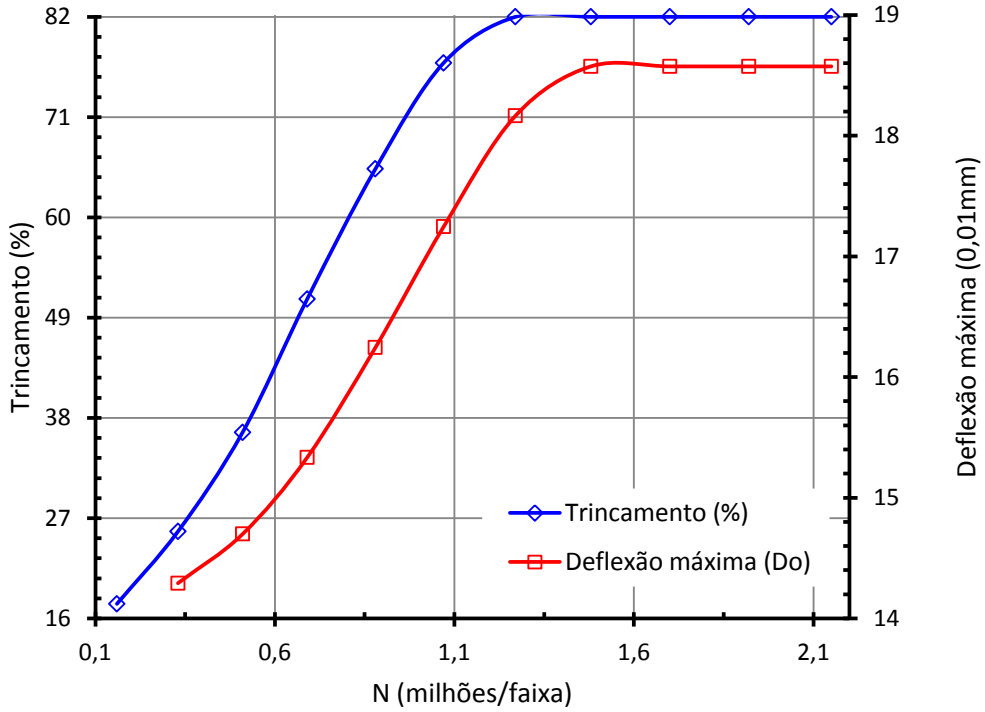


Figura UA10.7 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA10 (deflexão máxima e trincamento).

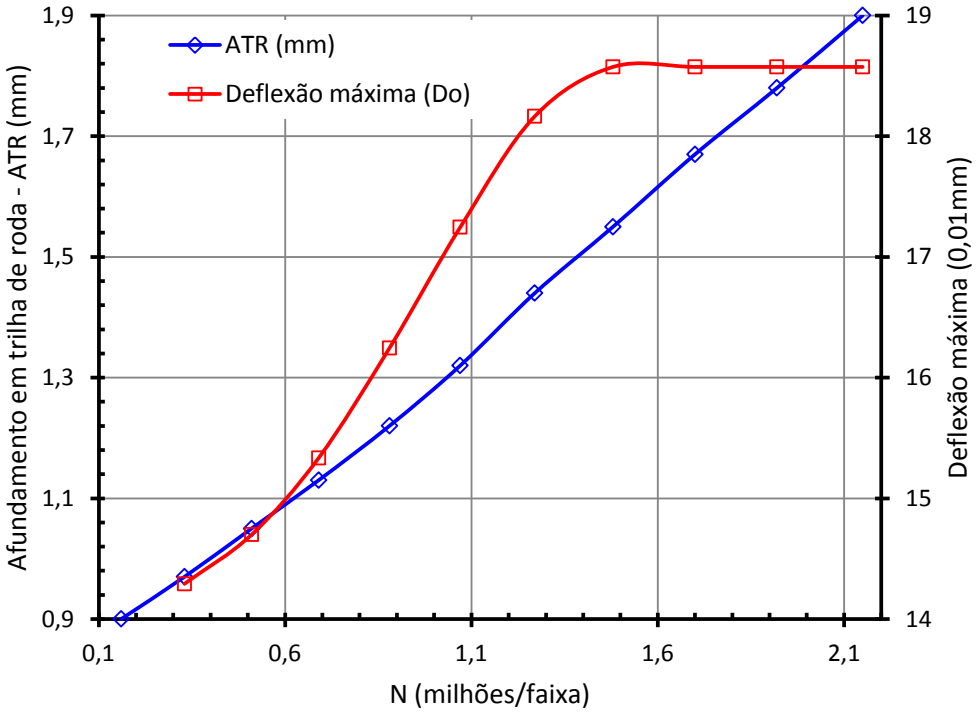


Figura UA10.8 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA10 (deflexão máxima e afundamento em trilhas de roda ATR).

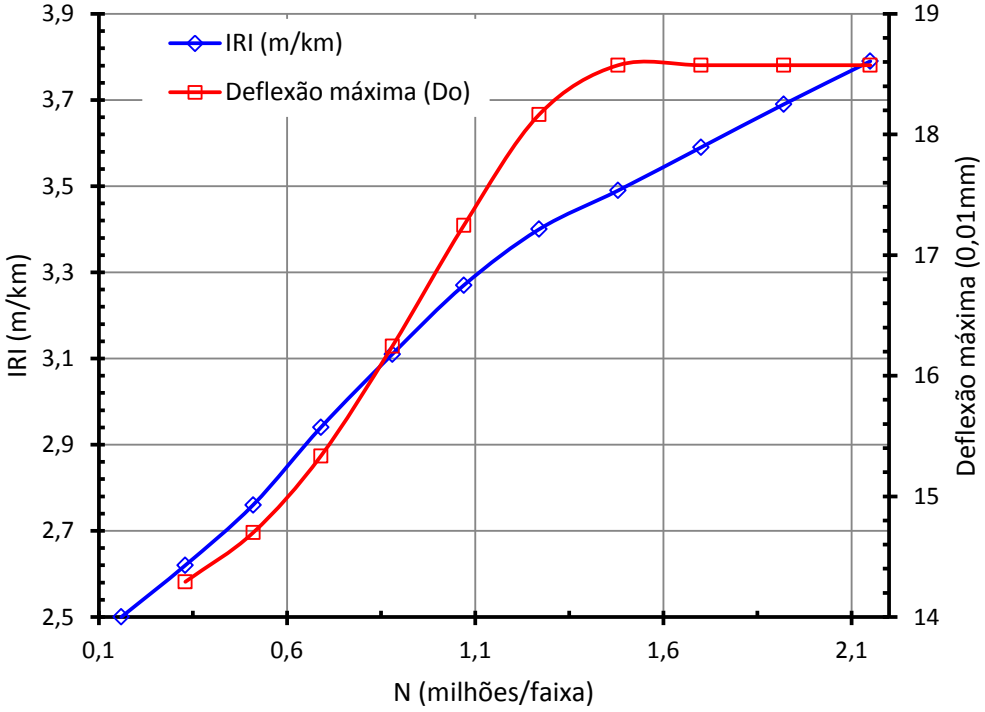


Figura UA10.9 – Curvas de previsão de desempenho das condições estrutural e funcional do pavimento da UA10 (deflexão máxima e irregularidade longitudinal IRI).

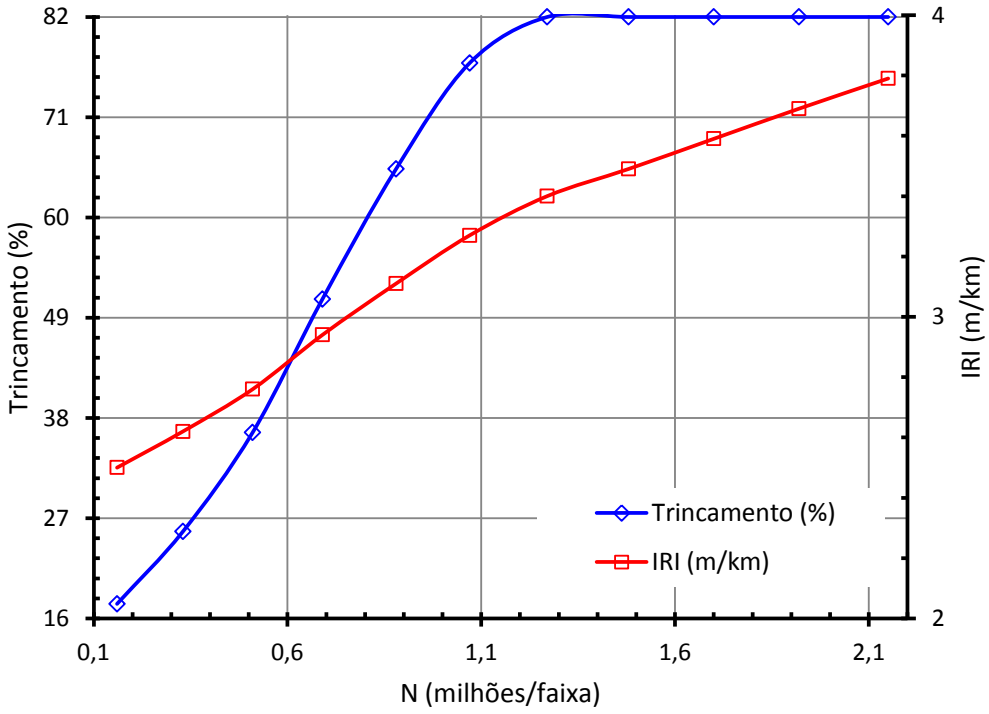


Figura UA10.10 – Curvas de previsão de desempenho das condições funcionais do pavimento da UA10 (trincamento e irregularidade longitudinal IRI).

VI.19.13 - ANÁLISES COMPARATIVAS DOS CENÁRIOS DE DESEMPENHO

A seguir são apresentadas as análises comparativas dos cenários preliminares de previsão de desempenho das Unidades de Amostragem (UAs). Foram analisadas as curvas de desempenho dos parâmetros: (i) Deflexão; (ii) Trincamento; (iii) Afundamento de Trilha de Roda; e (iv) Irregularidade. As curvas são plotadas em conjunto, objetivando observar se houveram diferenças de comportamento entre as Unidades de Amostragem. Através da plotagem das curvas em conjunto é possível observar diferentes tipos de comportamento. Tal aspecto é importante para a evolução da pesquisa, pois os trabalhos de segmentação homogênea e definição das UAs objetivaram a seleção de segmentos que fossem representativos dos mais diversos tipos de comportamento dos pavimentos da Via040. Através dos gráficos Normalizados foi possível visualizar com mais facilidade que as Unidades de Amostragem (UAs) selecionadas podem ser agrupadas por tipo de comportamento. Existem UAs com comportamentos próximos, que podem ser agrupadas em mais de um grupo, assim como existem UAs com comportamento específico. Destacam-se as Unidades de Amostragem UA07 e UA10 pelo seu comportamento bastante diferente das demais UAs. Referenciando-se nas curvas de desempenho da condição estrutural dos pavimentos (Figura 164), notam-se os seguintes agrupamentos: (1) UA01/UA02/UA03/UA04; e (2) UA06/UA08/UA09. A UA05 tem comportamento mais próximo do Grupo 2 (UA06/UA08/UA09).

As Figuras 164 a 171 apresentam os gráficos das análises comparativas dos parâmetros: (i) Deflexão; (ii) Trincamento; (iii) Afundamento de Trilha de Roda; e (iv) Irregularidade. No primeiro gráfico de cada Figura os parâmetros são apresentados no eixo das ordenadas com os valores obtidos pelos modelos de previsão de desempenho do HDM-4. No segundo gráfico, os parâmetros foram normalizados para proporcionar melhor visualização dos diferentes comportamentos das curvas. A normalização dos parâmetros é um recurso no qual todos os valores de cada curva de desempenho são divididos pelo valor máximo encontrado na curva, de forma que a variação do eixo das ordenadas é de 0 até no máximo 1 (unidade).

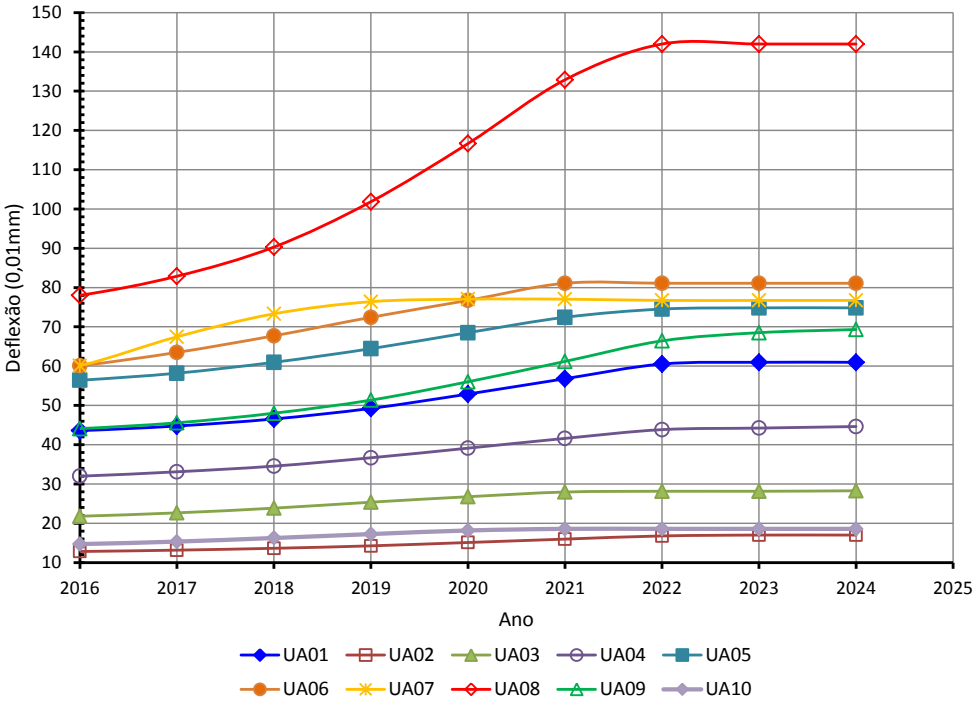


Figura 164 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento das UA's (deflexão máxima).

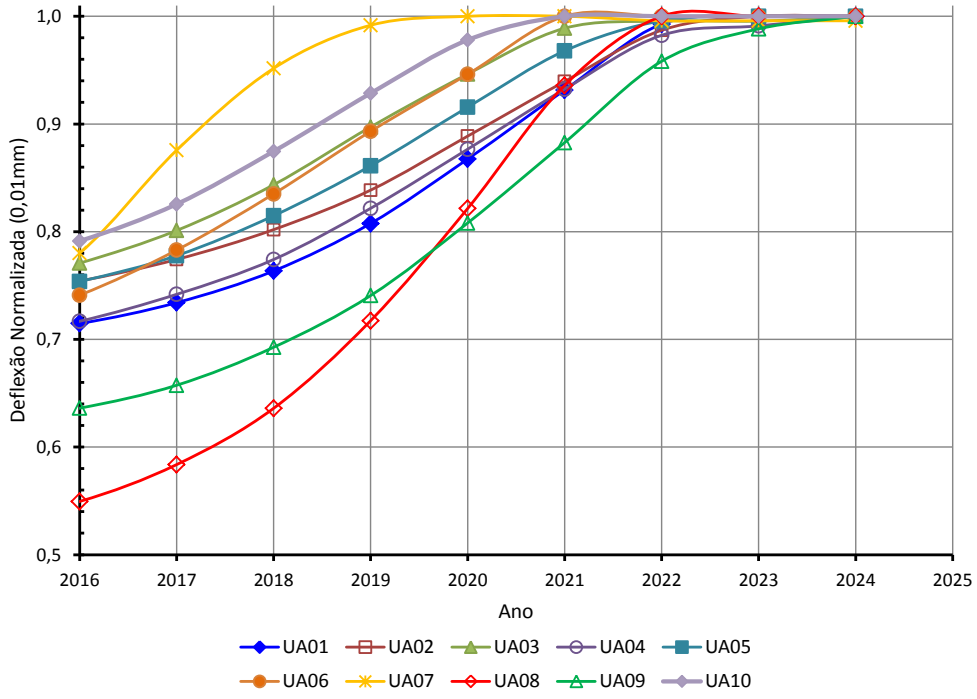


Figura 165 – Curva de previsão de desempenho da condição estrutural do pavimento das UA's – Normalizado (deflexão máxima).

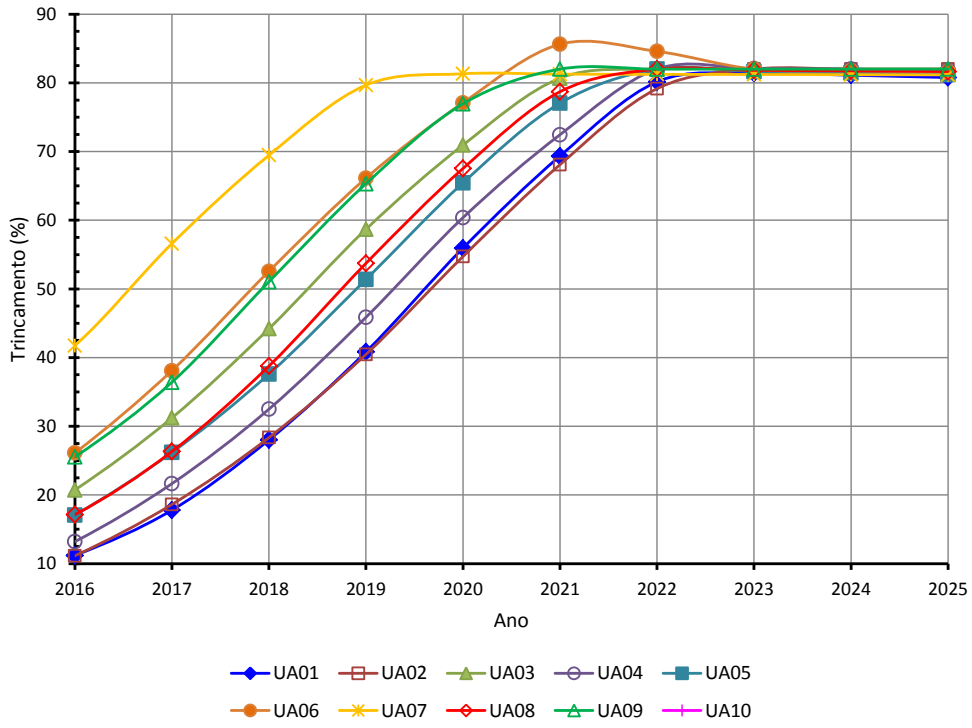


Figura 166 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento das UA's (trincamento).

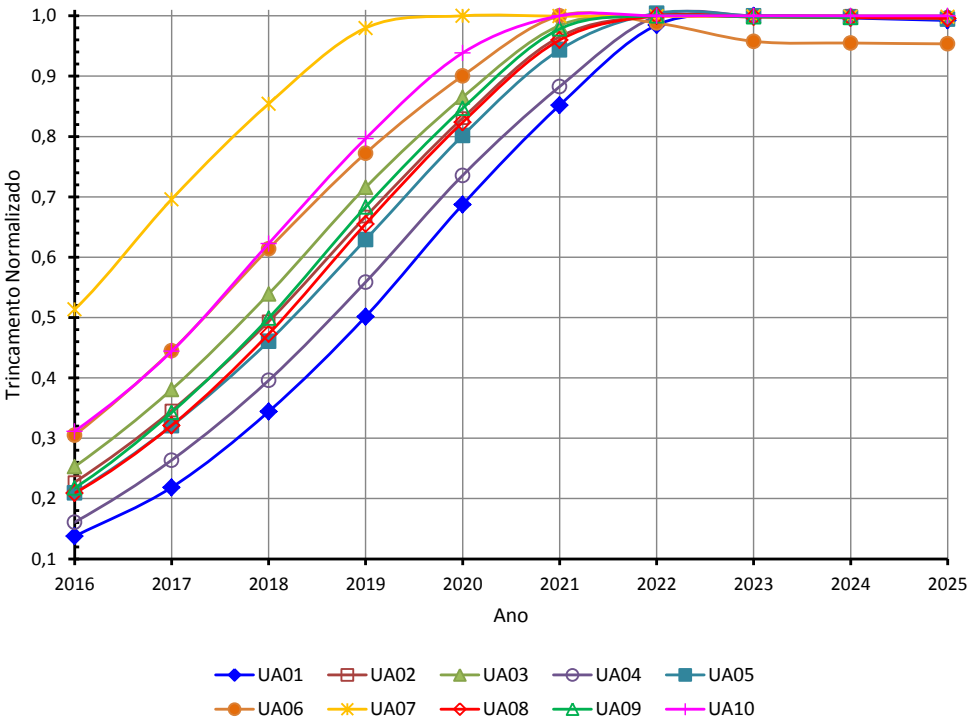


Figura 167 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento das UA's – Normalizado (trincamento).

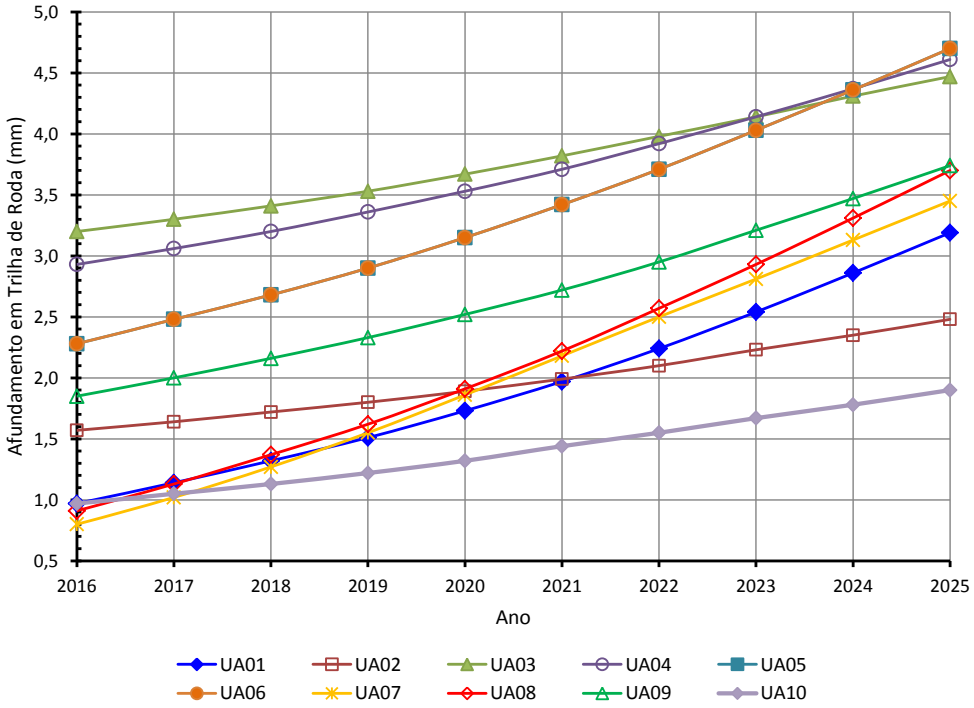


Figura 168 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento das UA's (afundamento em trilhas de roda ATR).

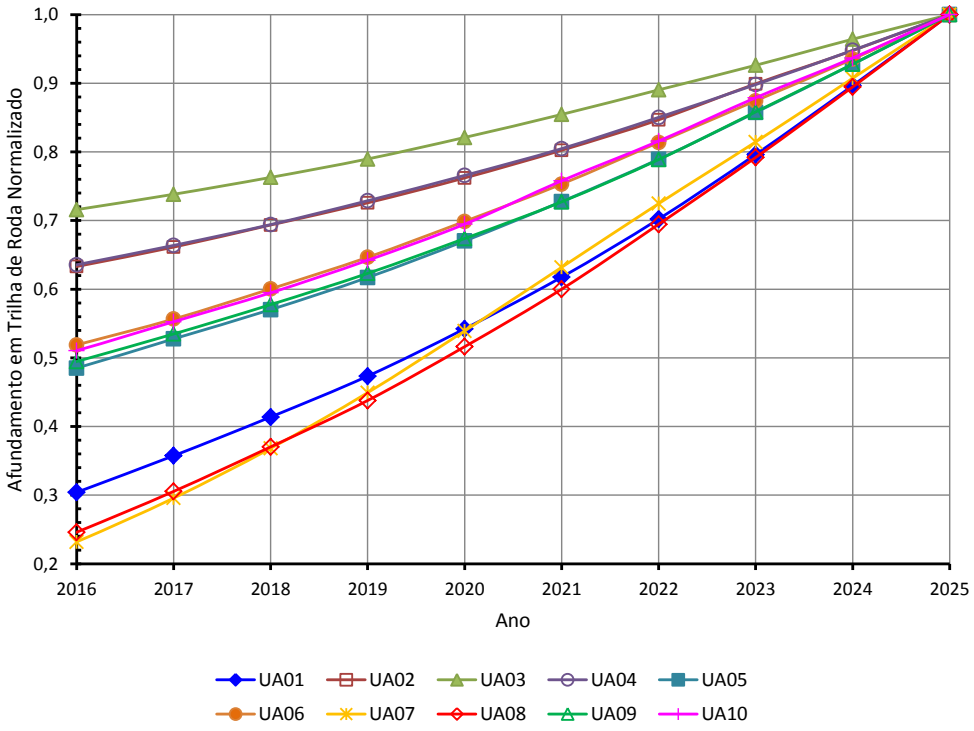


Figura 169 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional/estrutural do pavimento das UA's – Normalizado (afundamento em trilhas de roda ATR).

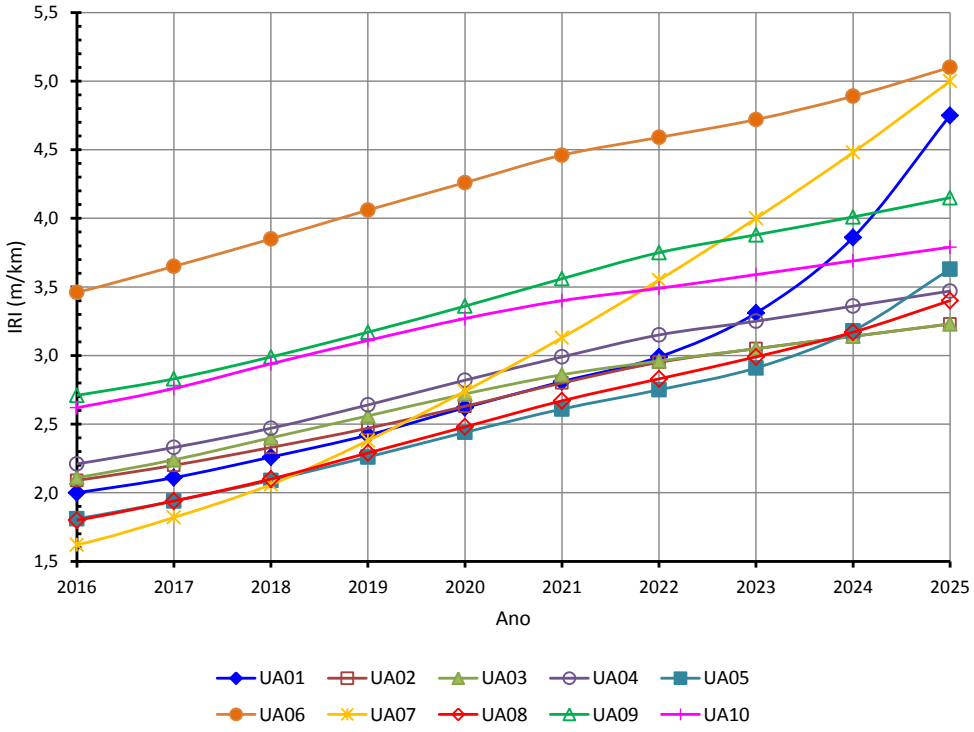


Figura 170 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento das UA's (irregularidade longitudinal IRI).

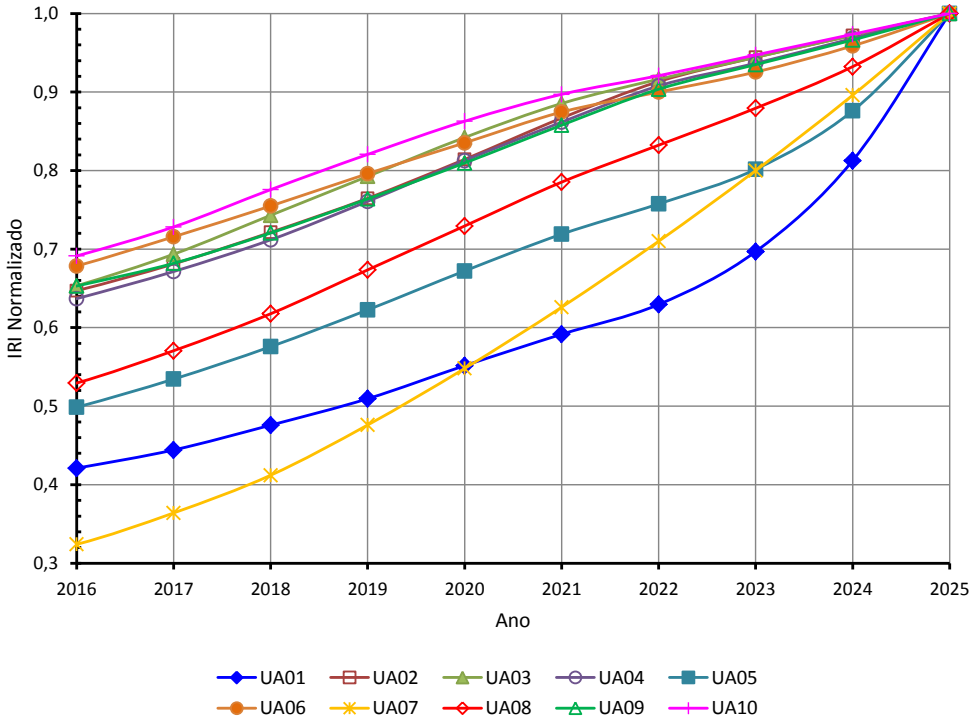


Figura 171 – Curva de previsão de desempenho da condição funcional do pavimento das UA's – Normalizado (irregularidade longitudinal IRI).

VII - CONCLUSÕES

Pavimentação é uma área tecnológica com atraso bastante significativo no Brasil e a Via040 vem fazendo investimentos ordenados nos setores de pesquisa, engenharia consultiva, construção e controle de qualidade, através do RDT e das obras em execução. Os pavimentos rodoviários representam um valioso patrimônio cuja conservação e restaurações oportunas são essenciais para a sua preservação (Visconti, 2000) e para o tráfego de veículos. A melhor compreensão do comportamento dos pavimentos resultará em intervenções corretas no momento oportuno, que irá resguardar a vida útil do pavimento e oferecer as condições ideais de conforto e segurança para os usuários, de forma sustentável para preservação e melhoria da qualidade ambiental.

No projeto de RDT para avaliar os desempenhos funcional e estrutural dos pavimentos foram definidas Unidades de Amostragem (UAs) distribuídas ao longo da Via040 (Brasília/DF e Juiz de Fora/MG). Nessas UAs concentraram-se os esforços de pesquisa, sendo realizadas as monitorações e os ensaios de campo e laboratoriais com recursos humanos, estrutura e equipamentos próprios do Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT). As análises e tratamento dos dados das monitorações e ensaios dos pavimentos nas Unidades de Amostragem (UAs) contribuíram para proporcionar uma compreensão preliminar dos mecanismos que governam o comportamento dos pavimentos e aprimorar técnicas de ensaios e análises de resultados. Implantaram-se um Banco de Dados, contendo informações e parâmetros sobre as condições dos pavimentos, e Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP). Análises comparativas das condições de campo com os resultados dos ensaios laboratoriais são atividades importantes para iniciar estudos sobre fatores laboratório-campo (FLC). Adotaram-se os modelos de previsão de desempenho do HDM-4 para avaliar o comportamento dos diversos pavimentos ao longo do tempo. À medida que a quantidade e qualidade das informações do Banco de Dados forem aumentando obter-se-á modelos de deterioração mais consistentes com o comportamento dos pavimentos frente às ações dos agentes externos. Verificou-se que mesmo com as simplificações adotadas nos modelos do HDM-4, a ferramenta é útil no gerenciamento a nível de rede, fornecendo um panorama expedito da evolução do processo de deterioração dos pavimentos. Com o envolvimento de acadêmicos de engenharia civil nas atividades do projeto de RDT foi promovida a capacitação técnica de futuros profissionais da área de pavimentação.

Entende-se que a definição de modelos de previsão de desempenho dos pavimentos e obtenção dos fatores laboratório-campo (FLC) não são objetivos fáceis de serem alcançados e que exige tempo de pesquisa, comumente dividida por etapas. A ideia concebida certamente não será esgotada com apenas as atividades apresentadas na pesquisa de RDT desenvolvida, sendo consideradas no plano de trabalho como uma das etapas a serem vencidas para atingir o objetivo almejado.

REFERÊNCIAS

AASHTO (1993). *AASHTO guide for design of pavement structure*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, USA.

AASHTO (1996) TP 31-96 - Standard Method of Test for Determining Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension. In: AASHTO

ABNT (2011) NBR 16018 - Misturas asfálticas – Determinação da rigidez por compressão diametral sob carga repetida. Rio de Janeiro.

ABNT (2012) NBR 15087 - Misturas asfálticas — Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro.

ADEDIMILA, A. S. e KENNEDY, T. W. (1975) Fatigue and resilient characteristics of asphalt mixtures by repeated – load indirect tensile test. Research Report 185-5, Center for Highway Res., Univ. of Texas, Austin.

ALBUQUERQUE, F. S. (2007). *Sistema de Gerência de Pavimento para Departamentos de Estradas do Nordeste Brasileiro*. Tese de DSc, UFRGS, Porto Alegre.

AMARAL, S.J. (2013). Conservação e Manutenção nos Pavimentos Rodoviários e a sua Importância. Dissertação de MSc, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Lisboa.

ASTM (2009) D 7369 - Standard Test Method for Determining the Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension Test.

BALBO, J. T. (2007). Pavimentação Asfáltica – Materiais, Projeto e Restauração. Editora Oficina de Textos, São Paulo/SP, 560 p.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. (2007). *Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros*. PETROBRAS: ABEDA, Rio de Janeiro/RJ, 504 p.

BORGES, C.B.S. (2001). Estudo Comparativo Entre Medidas de Deflexão com Viga Benkelman e Fwd em Pavimentos da Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina. Dissertação de MSc, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

BRITO, L. A. T. (2006) Avaliação e análise paramétrica do ensaio de compressão diametral sob cargas repetidas em misturas asfálticas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BRITO, L. A. T.; CERATTI, J. A. P.; VICTORINO, D. R. (2008). *Indicadores do desempenho de misturas asfálticas determinados através do ensaio de compressão diametral*. TRANSPORTES, volume XVI, número 1, de junho de 2008. ISSN: 1415-7713

BUSTOS, M., ECHAVEGUREN, T., SOLMINIHAC, H. e CAROCA, A. (2006). Development of correlation equations between different measurements of skidresistance in pavements, Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, Vol. 13, pp. 117-122.

COSTA, G.M., ALBUQUERQUE, F.S., MENDONÇA, A.T. (2015). Análise Comparativa Entre Resultados de Módulo de Resiliência Obtidos por Retroanálise de Bacias Deflectométricas de Fwd e por Ensaios de Laboratório. 44ª Reunião Anual de Pavimentação, Foz do Iguaçu, PR.

DÍAZ, J.T. (2014). Cálculo Mecánico de Pavimentos a Partir de Ensayos no Destructivos. Dissertação de MSc, Departamento De Ingeniería Y Ciencia De Los Materiales Y Del Transporte, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla, Espanha.

DNER – PRO 10/79 (1979). Procedimento – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento A. Rio de Janeiro.

DNER (1994) ME 133 - Misturas Betuminosas - Determinação do Módulo de Resiliência - Método de Ensaio. Rio de Janeiro.

DNER 159-PRO (1985). *Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos*. MT, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.

DNER, (1998). Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos. IPR/DNER/ABNT Publ. 704, 1 ed. Rio de Janeiro, 243 p.

DNER-ME 061/94, (1994)**.** Delineamento da Linha de Influência Longitudinal da Bacia de Deformação por intermédio da viga Benkelman. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 24/94, (1994)**.** Determinação das Deflexões pela viga Benkelman. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT (2010) ME 135 - Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Rio de Janeiro.

DNIT (2010) ME 136 - Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral - Método de ensaio. Rio de Janeiro.

DORMON, G. M. e C. T. METCALF (1965). Design Curves for Flexible Pavements Based on Layered System Theory. Highway Research Record 71, Highway Research Board. Washington, D.C.

EUROPEAN STANDARD (2003). EN 12967-26 - Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 26: Stiffness. European Committee for Standardization.

FABRÍCIO, J. M., GONÇALVES, E.A., FABRÍCIO, O. F. (1988). Metodologia Não Destrutiva para Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis Através da Interpretação das Bacias de

Deformação. In: 23a Reunião Anual de Pavimentação. V. 3, pp. 1415- 1446, Florianópolis, SC, Brasil. Apud Nóbrega (2003).

FERREIRA, J. G. H. M. (2008). Tratamento de Dados Geotécnicos Para Predição de Módulos de Resiliência de Solos e Britas Utilizando Ferramentas de Data Mining. Tese de DSc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

FRANCO, F. A. C. P (2007). Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FRITZEN, M. A. (2005). Avaliação de Soluções de Reforço de Pavimento Asfáltico com Simulador de Tráfego na Rodovia Rio-Teresópolis, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pró-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 291 p.

GEIPOT (1982). Pesquisa sobre Inter-relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias. Relatório Final – 1981, 12 volumes. Ministério dos Transportes, Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Brasília/DF.

GONÇALVES, F. P. (1999). *O Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos*. Notas de Aula.

GONTIJO, P.R.A., GUIMARÃES, F.H.R., NOGUEIRA, C.L. (1994). Uma Nova Metodologia para Auscultação de Pavimentos Rodoviários. 28ª Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, MG.

HICKS, R. J. (1970). Factors influencing the resilient properties of granular materials. Tese (Doutorado, Ph.D.), Univ. California, Berkeley, 510 p.

HIGHWAYS AGENCY (2015). Design Manual for Roads and Bridges, HD 28/15, UK.

HVEEM, F. N. (1955). Pavement Deflection and Fatigue Failures. Bulletin n. 114, HRB (TRB), Washington, D.C., p. 43-87.

IBGE (2006). Mapa de Unidades de Relevo do Brasil, Domínios Morfoestruturais e Morfoclimáticos / Compartimentos de Relevo. IBGE, Brasil.

IPR-720 (2006). Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Ministério dos Transportes, DNIT, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Brasília/DF.

IPR-745 (2011). Manual de Gerência de Pavimentos. Ministério dos Transportes, DNIT, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 189 p.

KERALI, H.G.R.; MCMULLEN, D.; ODOKI, J.B. (2000). The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 2: Applications Guide. World Bank, Washington, DC.

KERKHOVEN, R. E. e G. M. DORMON (1953). Some Considerations on the California Bearing Ratio Method for the Design of Flexible Pavements. Shell Bitumen Monograph Nº 1, Amsterdam.

KLEIN, F.C. (2005). Análise da Influência de Características Geométricas de Rodovias nos Custos dos Usuários utilizando o Programa HDM-4. Dissertação de MSc, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

KOHLER, E. R.; SANTERO, N. J.; HARVEY, J. T. (2006). Pilot Project for Fixed Segmentation of the Pavement Network. UCPRC-RR-2005/11 – Part of PPRC Strategic Plan Item 3.2.4, California Department of Transportation, Berkeley.

MACEDO, M.C.; RODRIGUES, R.M., (2003). Sistema de gerência de pavimentos: resultados da simulação com os aeroportos do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, 20 -24 de Outubro, 2003, Facultad de Ciências Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santigo, Chile, 11p.

MEDINA, J. (1997). *Mecânica dos Pavimentos*. Editora UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 380 p.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. (2005). *Mecânica dos Pavimentos*. Editora UFRJ, 2 ed., Rio de Janeiro/RJ, 570 p.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. (2015). *Mecânica dos Pavimentos*. Editora Interciência, 3 ed., Rio de Janeiro/RJ, 619 p.

MEDINA, J.; PREUSLLER, E. S. (1980). *Características resilientes de solos em estudos de pavimentos*, Solos e Rochas, vol. 3 , no. 1.

MORAES, O. L. P. (2006). Programação e Avaliação de Investimentos em Redes de Rodovias, Manual Curso HDM-4, 2006.

MORAES, C.G. (2015). Análise de Bacias Deflectométricas Obtidas por 4 Equipamentos do Tipo Falling Weight Deflectometer (FWD). Dissertação de MSc, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.

MOTTA, L. M. G (1991). Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis; Critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pró-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NÓBREGA, E.S., (2003). Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.

OLIVEIRA, C. G. M. (2003). Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante. Dissertação de MSc, Universidade de Brasília (UNB), Brasília.

PAOLUCCI, H.V.N., FARIAS, M.M., CARVALHO, J.C. (1995). – Análise de Dimensionamento de Reforço de um Pavimento Flexível através de um Programa de

Elementos Finitos. In: 29a Reunião Anual de Pavimentação. V. 2, pp.464-493, Cuiabá, MG, Brasil. Apud Nóbrega (2003).

PATERSON, W. D. O. (1987). Road Deterioration and Maintenance effects: models for planning and management, Banco Mundial, 1987.

PINTO, S. (1991). Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 478 p.

PONTE, R. S., CASTELO BRANCO, V. T. F., HOLANDA, A. S. E SOARES, J. B. (2014). Avaliação de diferentes metodologias para obtenção do Módulo de Resiliência de misturas asfálticas. Transportes, v. 22, p.86-95, Rio de Janeiro.

PREUSSLER, E. S., PINTO, S., MEDINA, J. (1981). Determinação da vida de fadiga de concretos asfálticos brasileiros e aplicação no dimensionamento de reforço de pavimentos. In: Reunião Anual de Pavimentação, 16., Recife. Anais... Recife: ABPV, p. 67-122.

QUEIROZ, P. E. S.; SILVA, R. C. (2004). *Estudos e Pesquisas para Calibração e Aferição do Modelo HDM-4 às Condições das Rodovias Brasileiras. Relatório Final.* MT Ministério dos Transportes, DNIT Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes DNIT, DPP Diretoria de Planejamento e Pesquisa.

ROCHA FILHO, N. R. (1996). Estudo de Técnicas para Avaliação Estrutural de Pavimentos por Meio de Levantamentos Deflectométricos. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, SP, 1996.

RODRIGUES, R. M., (1995). Aplicações da Mecânica dos Pavimentos ao projeto e à avaliação estrutural dos pavimentos asfálticos. In: 29° Reunião de Pavimentação, V.2, p.p 323-345, Cuiabá, MT.

SAAL, R. N. e P. S. PELL (1960). Fatigue of bituminous road mixes. Kolloid-Zeitschrift. 171 p.

SILVA, R. C.; SOUZA JR., J. G. . Análises de desempenho dos pavimentos com uso do HDM-4. In: JACQUES DE MEDINA: Visionário Humanista, Rio de Janeiro, pp. 371-379, 2016.

SILVA, R. C.; AMARAL, L. S. ; MUNIZ, D. D. ; ROMEIRO JUNIOR, C. L. S. . Análises do Comportamento e Desempenho dos Pavimentos da Via040, Brasília/DF a Juiz de Fora/MG. Revista ANTT, v. 7, p. 1-15, 2015.

SILVA, R. C. ; SOUZA JR., J. G ; COSTA, D. P. ; AMARAL, L. S. ; ROMEIRO JUNIOR, C. L. ; MUNIZ, D. D. .Desempenho Funcional e Estrutural de Pavimentos Flexíveis. In: 45ª Reunião Anual de Pavimentação RAPv / 19° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária ENACOR, 2016.

SILVA, R. C. ; SOUZA JR., J. G ; COSTA, D. P. ; AMARAL, L. S. ; ROMEIRO JUNIOR, C. L. ; MUNIZ, D. D. .Análises do Comportamento e Desempenho dos Pavimentos da Via040 - Brasília/DF a Juiz de Fora/MG. In: X Workshop RDT Recurso de Desenvolvimento

Tecnológico nas Concessões Rodoviárias, Brasília/DF. Recurso de Desenvolvimento Tecnológico - Soluções Técnicas e Aplicadas. Brasília/DF: ANTT Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2016.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1975). Test procedures for characterizing dynamics stress-strain properties of pavement materials. Special Report n. 162, Washington, DC, 40 p.

VISCONTI, T. S. (2000). *O Sistema de Gerencial de Pavimentos*. MT Ministério dos Transportes, DNER Dep. Nacional de Estradas de Rodagem, IPR Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 84 p.

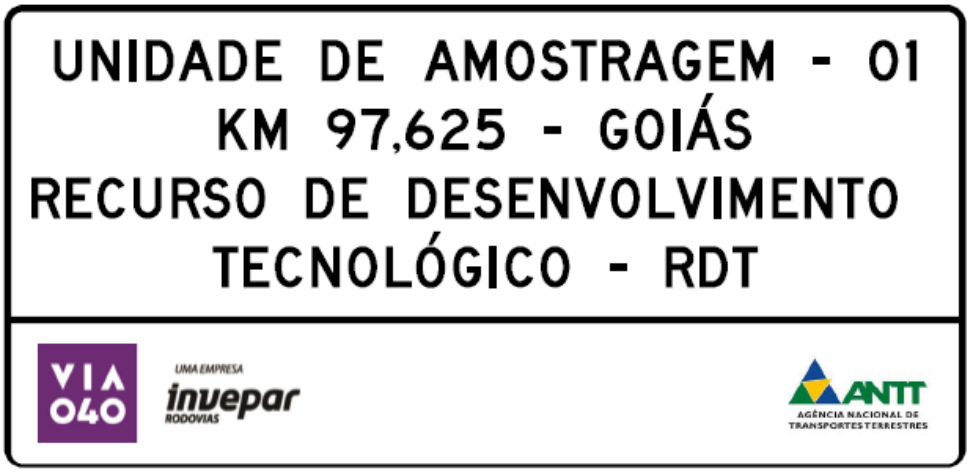
WATANATADA, T.; HARRAL, C.G.; PATERSON, W.D.O.; DHARESHWAR, A.M.; BHANDARI, A.; TSUNOKAWA K. (1987). The Highway Design and Maintenance Standards Series. Baltimore: Johns Hopkins for the World Bank.

WDM (2016). http://www.wdm.co.uk/equipment/3-equipment/3-scrimr-scrimtex, Acesso 29/04/2016.

ANEXO I
(Resultados dos Ensaios)

Apresentam-se os resultados dos ensaios laboratoriais realizados amostras retiradas das Unidades de Amostragem (UAs) do trecho sob jurisdição da Concessionária BR-040 (Via040). A tabela a seguir apresenta a relação dos materiais ensaiados por UA.

UNIDADE DE AMOSTRAGEM	CAMADA	REGISTRO VIA 040	IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL
UA 01	Subleito	42	Cascalho arenoso siltoso
	Base	43	Cascalho arenoso vermelho
UA 02	Subleito	52	Argila
	Base	53	Cascalho arenoso
UA 03	Base	55	Cascalho arenoso
	Subleito	58	Argila siltosa
UA 04	Subleito	56	Argila vermelha
	Base	57	Cascalho arenoso
UA 05	Sub-base	54	Cascalho arenoso
	Base	65	Bica corrida
UA 06	Base	37	Cascalho laterítico
UA 07	Base	36	Canga de minério
UA 08	Base	44	Brita Graduada
	Sub-base	46	Cascalho arenoso
UA 09	Subleito	48	Argila siltosa arenosa
	Sub-base	49	Cascalho arenoso
	Base	50	Brita graduada
UA 10	Base	47	Cascalho silto arenoso


UNIDADE DE AMOSTRAGEM - 01
KM 97,625 - GOIÁS
RECURSO DE DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO - RDT
VIA 040
UMA EMPRESA
invepar
RODOVIAS
ANTT
AGÊNCIA NACIONAL DE
TRANSPORTES TERRESTRES

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS - VIA 040								
CAMPANHA DE CAMPO 01 - JANEIRO/FEVEREIRO - 2016								
QUADRO RESUMO								
UA 01		Km 97+650 / GO			Camada			
					CA	Base	Sub-Base	Subleito
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Caracterização	Granulometria	% passando	3 "	-	100,00	100,00	CAMADA NÃO COLETADA
				2 "	-	100,00	100,00	
				1 1/2 "	-	100,00	100,00	
				1 "	-	98,76	97,56	
				3/4 "	-	96,00	94,05	
				1/2 "	-	92,35	90,53	
				3/8 "	-	85,31	87,32	
				nº 4	-	63,93	73,28	
				nº 8	-	42,99	65,01	
				nº 10	-	40,82	64,03	
				nº 16	-	35,73	61,80	
				nº 30	-	32,17	60,11	
				nº 40	-	31,00	59,37	
				nº 50	-	28,80	58,17	
				nº 80	-	22,20	48,47	
				nº 100	-	14,76	41,28	
				nº 200	-	8,22	27,47	
		Espesura da camada (cm)			8,00	16,00	17,00	
		Material			CBUQ	Cascalho arenoso	Cascalho siltoso rosa	
		L.L.			-	NL	NL	
		L.P.			-	NP	NP	
		I.P.			-	0	0	
		I.G.			-	0	0	
		Classificação H.R.B.			-	A-1-b	A-2-4	
	Compactação	Dens. seca máx (g/cm³)			-	2,145	2,100	
		Umidade ótima (%)			-	8,05	8,00	
		CBR (%)			-	209,84	43,51	
		Expansão (%)			-	0,00	0,19	
	Módulo de Resiliência (Mpa)				-	-	-	
	Permeabilidade (cm/s)				-	1,76E-03	3,46E-06	
ENSAIOS *IN SITU*	Umidade natural (%)				-	6,89%	9,07%	CAMADA NÃO COLETADA
	Densidade úmida (g/cm³)				-	2,292	2,374	
	Dens. seca máx (g/cm³)				-	2,144	2,177	
	Grau de Compactação (%)				-	100,0%	103,6%	
	DCP - mm/golpe				-	-	-	
	Mancha de Areia - Hs (mm)				0,60	-	-	
	Pêndulo Britânico - VRD				65,20	-	-	
	Medição de ATR (mm)				4,00	-	-	
	Permeabilidade *in situ* (cm/s)				-	-	-	
	Deflexão máxima - VB (0,01 mm)				-5233,33	-	-	

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se IP ≤ LL -30, será A-7-5; Se IP > LL - 30, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

a = p - 35	(se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35)	a varia de 0 a 40 e *0,2* . a varia de 0 a 8.
b = p - 15	(se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15)	b varia de 0 a 40 e *0,01* . $b \cdot d$ varia de 0 a 8.
c = LL - 40	(se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40)	c varia de 0 a 20 e *0,005* . $a \cdot c$ varia de 0 a 4.
d = IP - 10	(se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10)	d varia de 0 a 20 e *0,01* . b . d varia de 0 a 8.

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	0	15
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	12	27
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

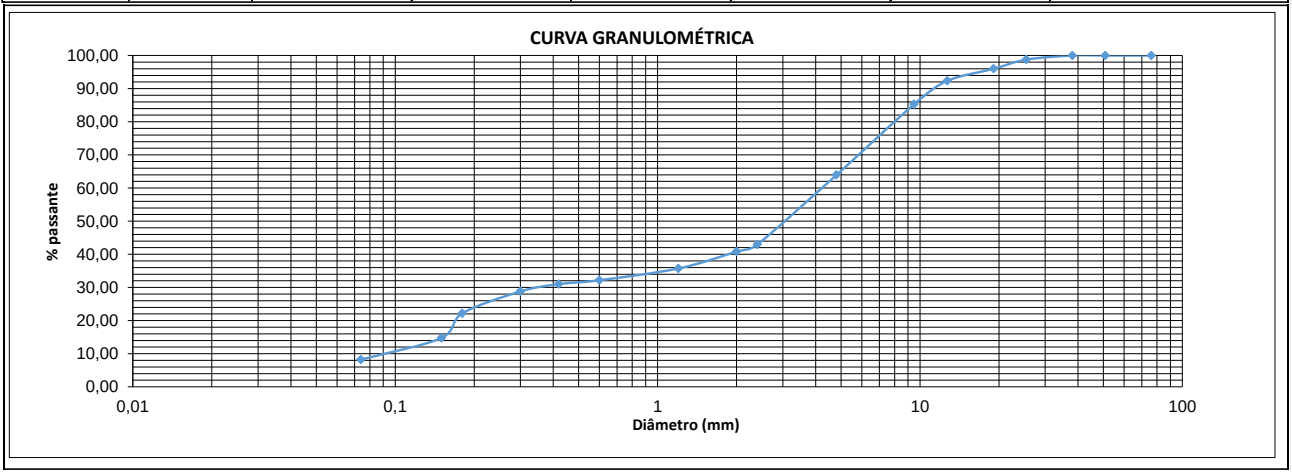
Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
43		GO	97+625	UA01	Casc. Arenoso vermelho		Base	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	49	58	Pedregulho: acima 4,8 mm	36,07
Recipiente nº 4	Retido nº10	1177,10	C + S + A (g)	98,28	98,89	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	23,11
	Passando nº 10 úmida	822,90	C + S (g)	97,22	97,8	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	9,83
Retido nº 10	Peso da água	10,93	A = Água (g)	1,06	1,09	Areia Fina: entre nº 40 e 200	22,77
	Passando nº10 seca	811,967	C = Cápsula (g)	18,879	16,444	Passando nº 200	8,22
Recipiente nº: 1	Amostra Total Seca	1989,07	S = Solo (g)	78,341	81,356	TOTAL	100,00
	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	1,35	1,34	Retido: (nº 10 - nº 200)	32,60
	Amostra menor nº10 seca	197,34	Fator de Correção	0,9867			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	24,60		1,24	1,24	98,76
3/4 pol	19,10	54,90		2,76	4,00	96,00
1/2 pol	12,70	72,70		3,65	7,65	92,35
3/8 pol	9,50	140,00		7,04	14,69	85,31
nº 4	4,80	425,30		21,38	36,07	63,93
nº 8	2,40	416,50		20,94	57,01	42,99
nº 10	2,00	43,10		2,17	59,18	40,82
nº 16	1,20	24,60	12,47	5,09	64,27	35,73
nº 30	0,60	17,20	8,72	3,56	67,83	32,17
nº 40	0,42	5,70	2,89	1,18	69,00	31,00
nº 50	0,30	10,60	5,37	2,19	71,20	28,80
nº 80	0,18	31,90	16,16	6,60	77,80	22,20
nº 100	0,15	36,00	18,24	7,45	85,24	14,76
nº 200	0,074	31,60	16,01	6,54	91,78	8,22



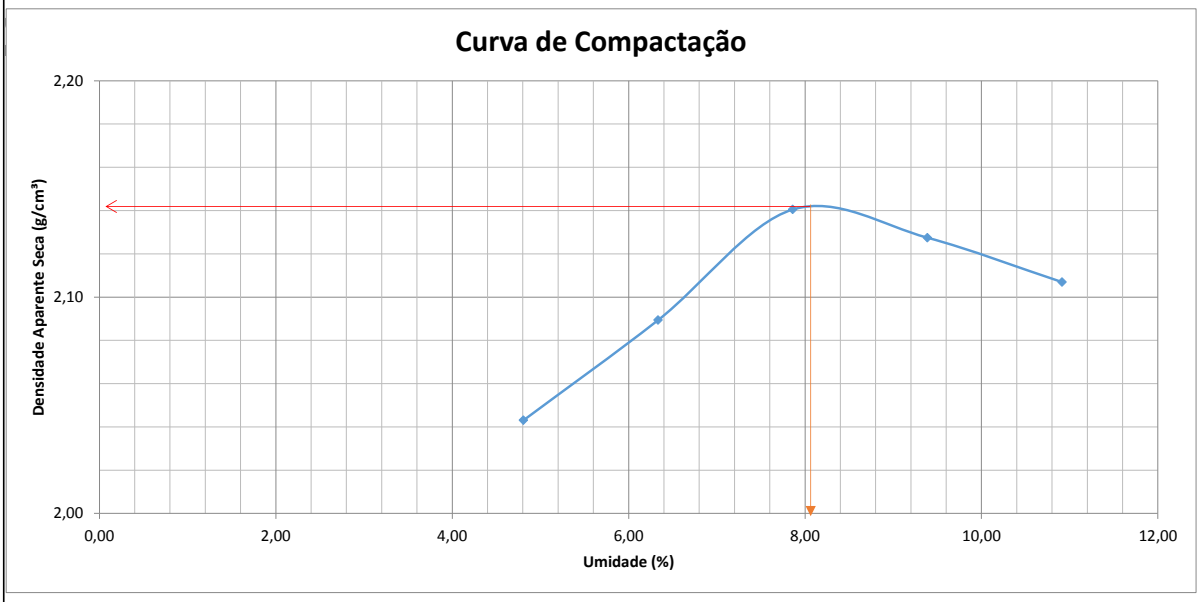
	FORMULÁRIO					PAGINA Nº	1/1
VIA 040 UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO					VERSÃO	00
						DATA	27/11/2015
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.001	

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
43	97+625	UA01	Base	Cascalho arenoso vermelho	-	24/03/2016

% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
37,70%	Modificado	55	**8.000,00**	7862,0	138,0	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	1	2	3	4	5	UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº						7	10	
C + S + A (g)						656,53	642,19	
C + S (g)						646,40	632,58	
A - ÁGUA (g)						10,1	9,6	
C - CÁPSULA (g)						76,70	77,77	
S - SOLO (g)						569,7	554,8	
UMIDADE (%)						1,8	1,7	
UMIDADE MÉDIA						1,8		
UMID. ADOTADA (%)	4,81	6,33	7,86	9,39	10,91	FATOR DE CORREÇÃO		
UMIDADE CALCULADA (%)	4,81	6,33	7,86	9,39	10,91	0,9828		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	2,043	2,089	2,140	2,127	2,107	Moldes		
COMPACTAÇÃO						N°	Peso	Volume
CILINDRO Nº	15	2	8	16	18	2	5465	2084
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240	360	480	600	720	8	5495	2049
ÁGUA ADICIONADA (%)	3	4,5	6	7,5	9	16	5555	2060
M + S + A (g)	9845	10095	10225	10350	10300	18	5525	2043
M - MOLDE (g)	5460	5465	5495	5555	5525	15	5460	2048
S + A (g)	4385	4630	4730	4795	4775	**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
VOL. CILINDRO (cm³)	2048	2084	2049	2060	2043	8,05		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,141	2,222	2,309	2,327	2,337	**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	2,079	2,126	2,178	2,165	2,144	2,145		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94	VERSÃO	00
		DATA	
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.004	

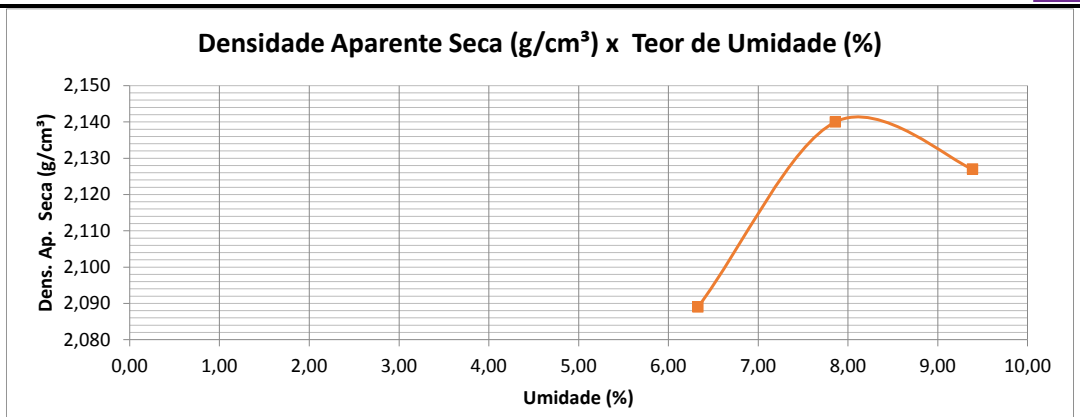
REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
43	Cascalho Arenoso	Base	UA01		55		

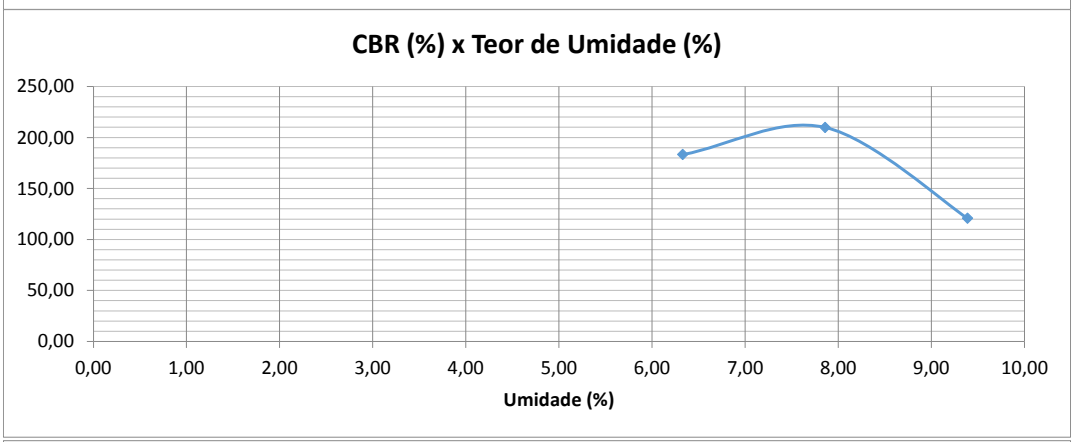
Cilindro nº		2		8		16						
Alturas dos CP´s		115,80		113,80		113,40						
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
24/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
25/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
26/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
27/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
28/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
Expansão Final (%)		0,00		0,00		0,00					

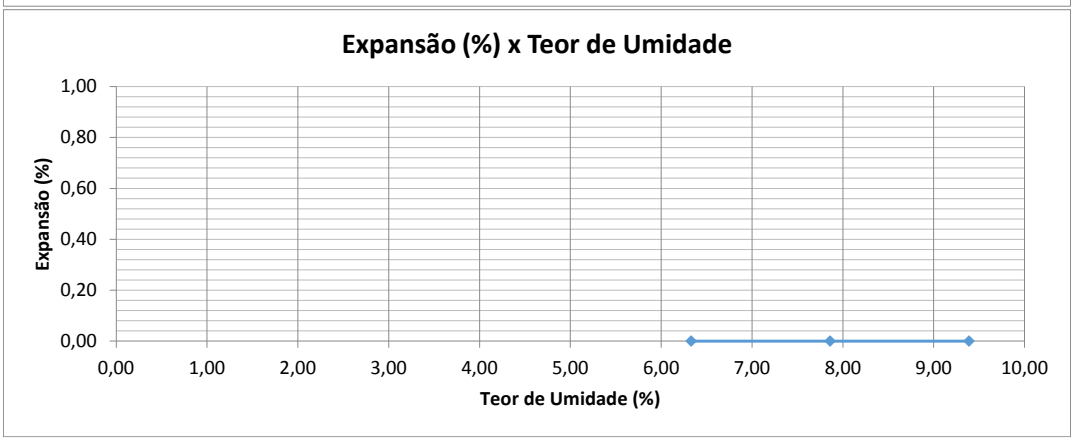
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

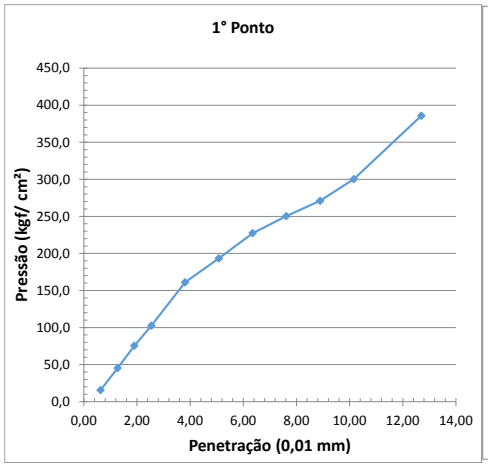
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel	0,0967			
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	160	15,5	245	23,7	68	6,6				
1	1,27	468	45,2	545	52,7	167	16,1				
1,5	1,90	780	75,4	814	78,7	297	28,7				
2	2,54	1060	102,5	1135	109,7	479	46,3				
3	3,81	1665	161,0	1743	168,5	895	86,5				
4	5,08	2000	193,3	2291	221,5	1317	127,3				
5	6,35	2350	227,2	2703	261,3	1664	160,9				
6	7,62	2590	250,4	3005	290,5	1990	192,4				
7	8,89	2803	271,0	3310	320,0	2243	216,8				
8	10,16	3105	300,2	3790	366,4	2645	255,7				
10	12,70	3990	385,7	4389	424,3	3107	300,4				

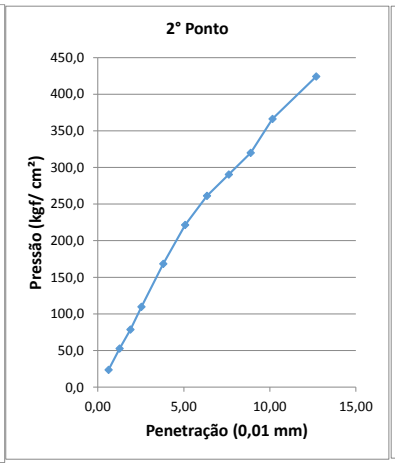
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		145,6		155,9		65,8				
I.S.C. 5,08 mm		183,2		209,8		120,6				

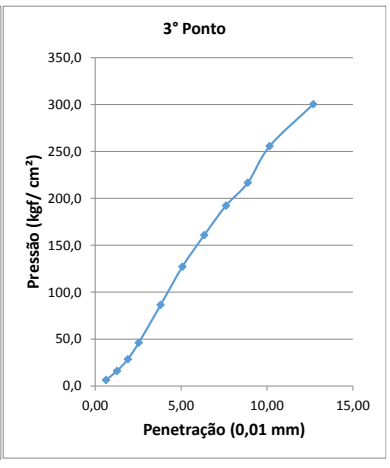

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,150
2,140
2,130
2,120
2,110
2,100
2,090
2,080
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Umidade (%)


CBR (%) x Teor de Umidade (%)
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade
Expansão (%)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Teor de Umidade (%)

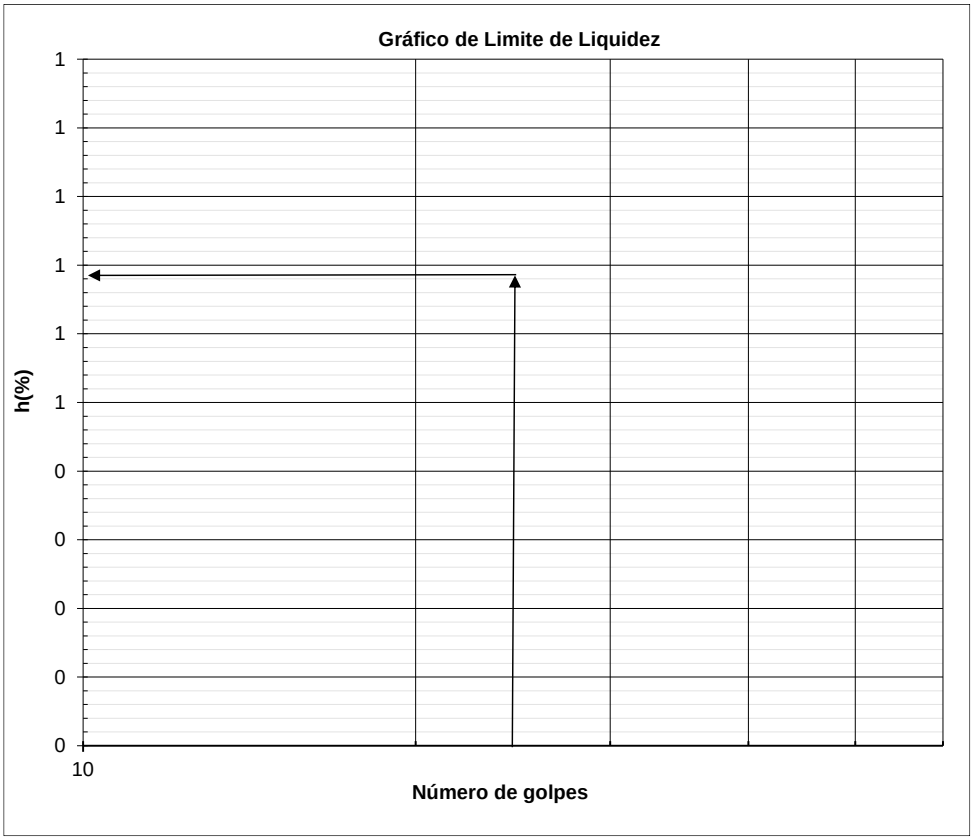

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
450,0
400,0
350,0
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
14,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
450,0
400,0
350,0
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
350,0
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
43	**97+625**				**UA01**		**GUILHERME**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)				NL				
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Nº de golpes								
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)				NP				
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)		
Limite de Plasticidade (LP)		
Índice de Plasticidade (IP)		

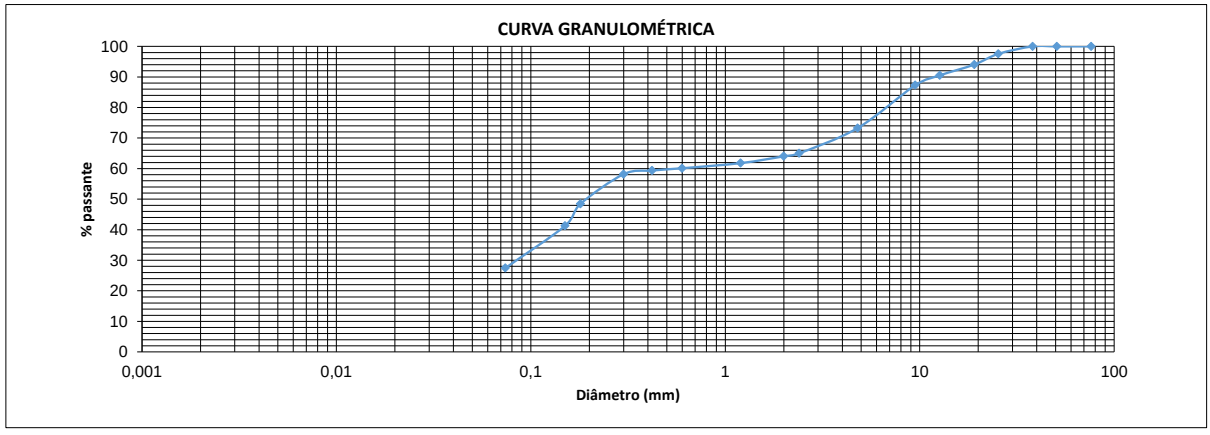


	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS		VERSÃO	00
	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.005	

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
42								Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	61	67	Pedregulho: acima 4,8 mm	26,72
Recipiente nº	Retido nº10	714,60	C + S + A (g)	94,04	98,39	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	9,25
3	Passando nº 10 úmida	1285,40	C + S (g)	93,23	97,52	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	4,66
Retido nº 10	Peso da água	13,46	A = Água (g)	0,81	0,87	Areia Fina: entre nº 40 e 200	31,90
7	Passando nº10 seca	1271,94	C = Cápsula (g)	16,755	15,197	Passando nº 200	27,47
Recipiente nº:	Amostra Total Seca	1986,54	S = Solo (g)	76,475	82,323	TOTAL	100,00
	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	1,06	1,06	Retido: (nº 10 - nº 200)	36,56
	Amostra menor nº10 seca	197,91	Fator de Correção	0,9895			

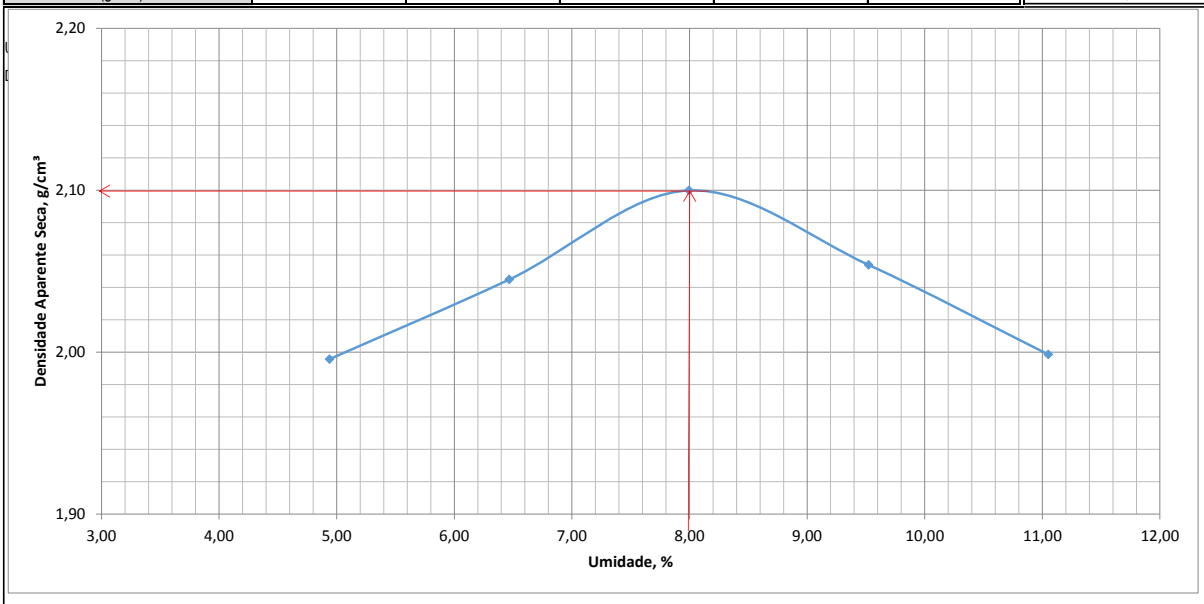
Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	48,40		2,44	2,44	97,56
3/4 pol	19,10	69,70		3,51	5,95	94,1
1/2 pol	12,70	70,00		3,52	9,47	90,5
3/8 pol	9,50	63,70		3,21	12,68	87,3
nº 4	4,80	279,00		14,04	26,72	73,3
nº 8	2,40	164,30		8,27	34,99	65,0
nº 10	2,00	19,50		0,98	35,97	64,0
nº 16	1,20	6,90	3,49	2,23	38,20	61,8
nº 30	0,60	5,20	2,63	1,68	39,89	60,1
nº 40	0,42	2,30	1,16	0,74	40,63	59,4
nº 50	0,30	3,70	1,87	1,20	41,83	58,2
nº 80	0,18	30,00	15,16	9,71	51,53	48,5
nº 100	0,15	22,20	11,22	7,18	58,72	41,3
nº 200	0,074	42,70	21,58	13,81	72,53	27,5



	FORMULÁRIO					PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA DNIT 124/94					VERSÃO	00
						DATA	27/11/2015
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.001	

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA	Folha
42	UA 01	95+650	Subbase	Cascalho silt. Av. rosa	-	24/03/2016	1
% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
	Intermediário	26	**8.000,00**	7852,1	147,9	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE											1,9		
	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											3	5	
C + S + A (g)											503,8	487,0	
C + S (g)											495,0	479,2	
A - ÁGUA (g)											8,7	7,8	
C - CÁPSULA (g)											49,43	46,91	
S - SOLO (g)											445,6	432,3	
UMIDADE (%)											2,0	1,8	
UMIDADE MÉDIA											FATOR DE CORREÇÃO		
UMID. ADOTADA (%)	4,94		6,47		8,00		9,52		11,05		0,9815		
UMIDADE CALCULADA (%)	4,94		6,47		8,00		9,52		11,05		Moldes		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,996		2,045		2,100		2,054		1,998		Nº	Peso	Volume
COMPACTAÇÃO											16	5555	2060
CILINDRO Nº	16		20		12		1		2		20	5610	2053
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240		360		480		600		720		12	5450	2051
ÁGUA ADICIONADA (%)	3		4,5		6		7,5		9		1	5560	2089
M + S + A (g)	9870		10080		10100		10260		10090		2	5465	2084
M - MOLDE (g)	5555		5610		5450		5560		5465		UMIDADE ÓTIMA (%)		
S + A (g)	4315		4470		4650		4700		4625		8,0		
VOL. CILINDRO (cm³)	2060		2053		2051		2089		2084		DENS. SECA MÁX. (g/cm³)		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,094		2,177		2,268		2,249		2,219		2,100		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94	VERSÃO	00
		DATA	
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.004	

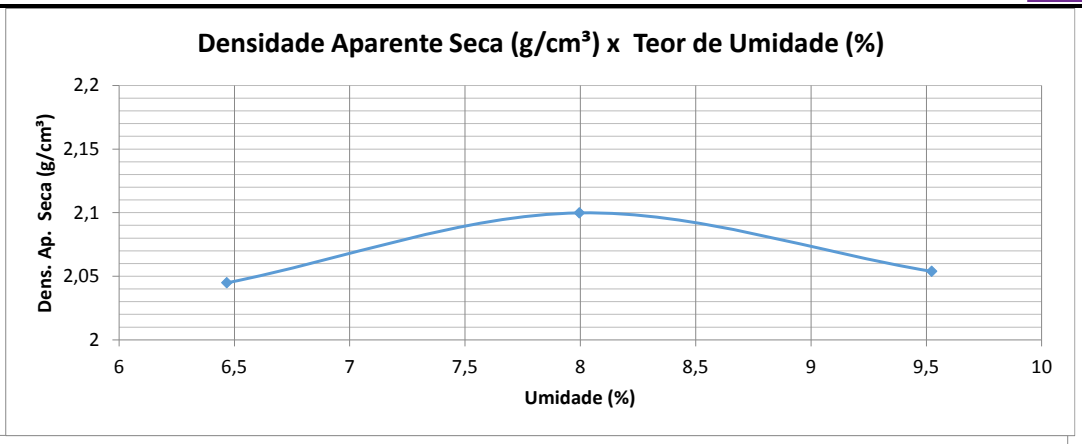
REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
42	Casc. Silt. Arenoso	Sub base	UA01	Km97+650			Guilherme

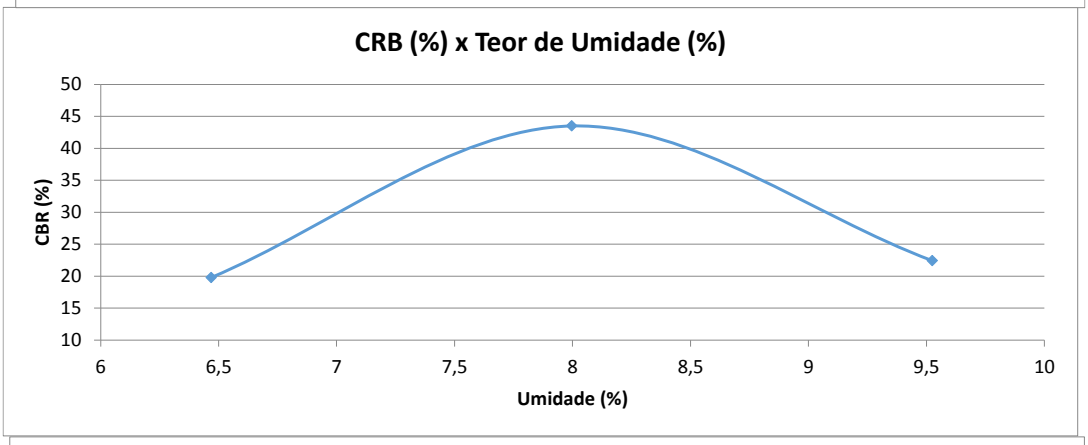
Cilindro nº		20		12		1					
Alturas dos CP´s		113,30		113,30		115,30					
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
08/03/16	13:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
09/03/19	13:40	2,07	0,06	2,03	0,03	2,07	0,06				
09/03/22	13:40	2,15	0,07	2,09	0,05	2,10	0,03				
09/03/25	13:40	2,22	0,06	2,14	0,04	2,12	0,02				
10/03/25	13:40	2,32	0,09	2,21	0,06	2,14	0,02				
Expansão Final (%)		0,28		0,19		0,12					

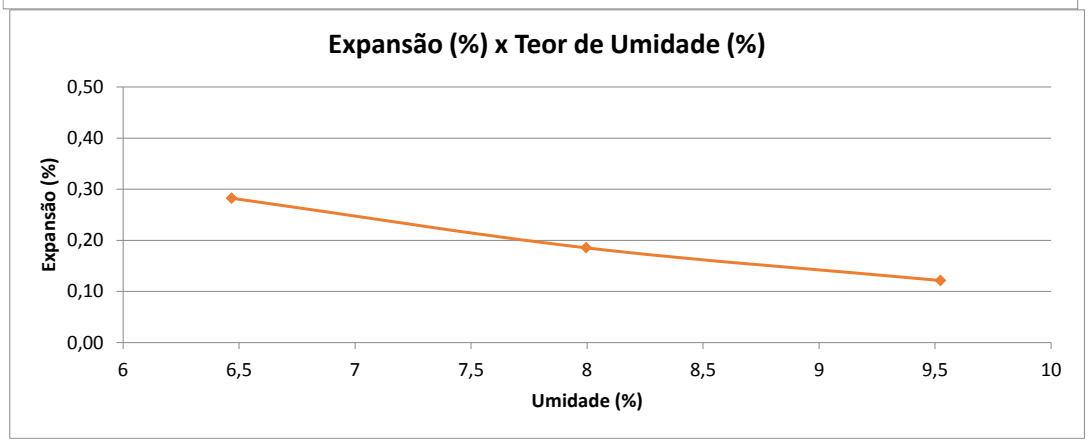
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

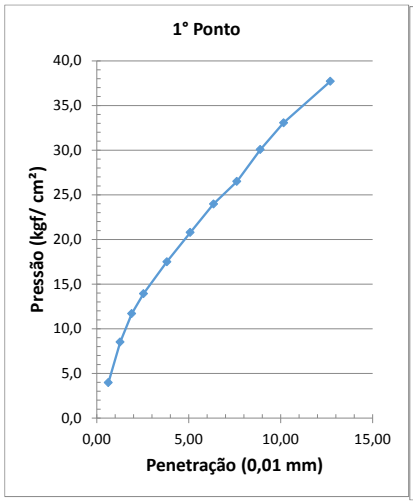
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel				0,0967
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	41	4,0	103	10,0	20	1,9				
1	1,27	88	8,5	190	18,4	42	4,1				
1,5	1,90	121	11,7	255	24,7	65	6,3				
2	2,54	144	13,9	305	29,5	95	9,2				
3	3,81	181	17,5	393	38,0	170	16,4				
4	5,08	215	20,8	475	45,9	245	23,7				
5	6,35	248	24,0	552	53,4	314	30,4				
6	7,62	274	26,5	626	60,5	387	37,4				
7	8,89	311	30,1	685	66,2	435	42,1				
8	10,16	342	33,1	730	70,6	495	47,9				
10	12,70	390	37,7	835	80,7	609	58,9				

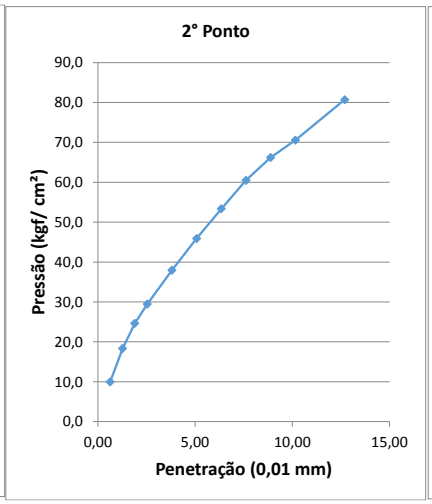
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		19,8		41,9		13,1				
I.S.C. 5,08 mm		19,7		43,5		22,4				

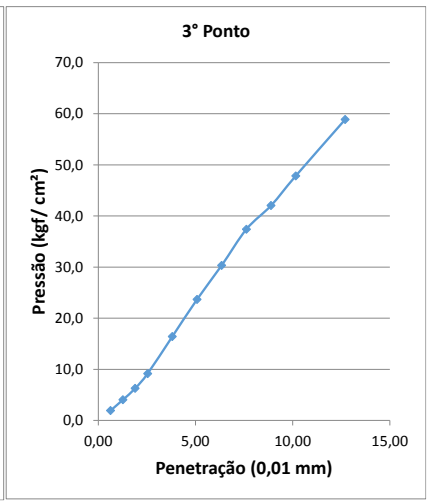

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,2
2,15
2,1
2,05
2
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
9,5
10
Umidade (%)


CRB (%) x Teor de Umidade (%)
CBR (%)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
9,5
10
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade (%)
Expansão (%)
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
9,5
10
Umidade (%)

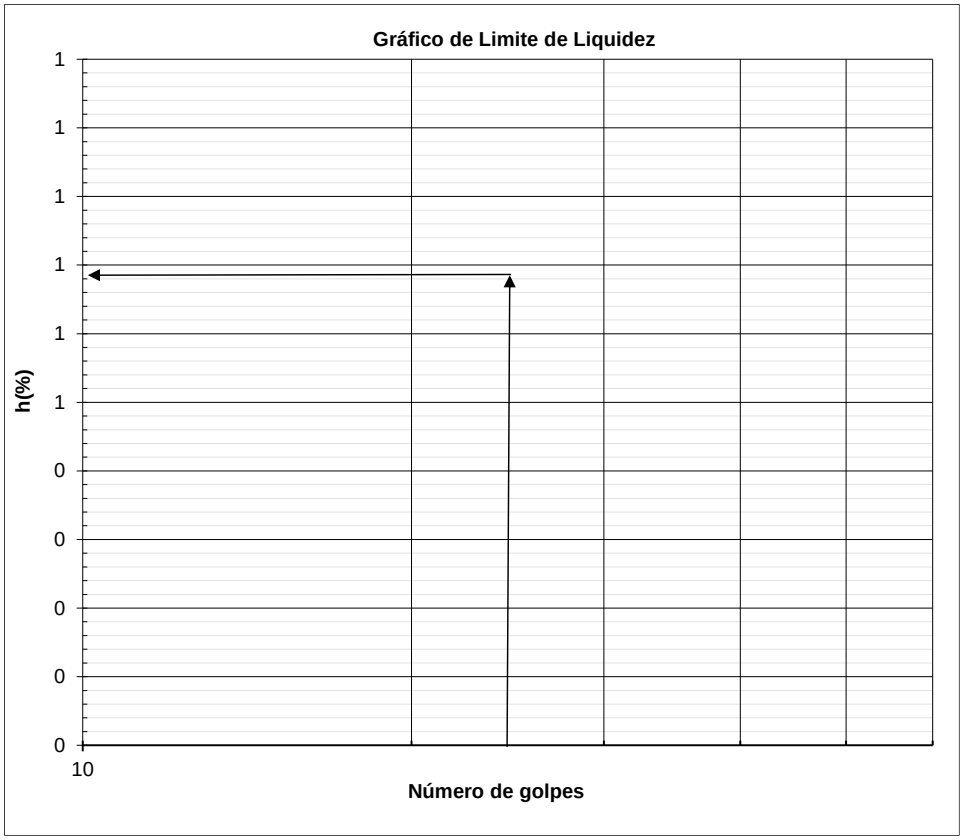

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
42	**97+650**				**UA01**		**GUILHERME**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)			NL					
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Nº de golpes								
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)			NP					
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)		
Limite de Plasticidade (LP)		
Índice de Plasticidade (IP)		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DENSIDADE "*in situ*"	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.XXX	

NORMA DNER 092/94

DATA:	**18/02/2016**	**KM INICIAL:**	**UA01**	**KM FINAL:**	
SENTIDO:		**FAIXA:**		**OPERADOR:**	

1. Peso Frasco Antes	7000,00	7000,00		
2. Peso Frasco Depois	5090,00	5020,00		
3. Peso Areia Deslocada	1910,00	1980,00		
4. Peso Areia no Cone*	488,00	488,00		
5. Peso Areia no Furo	1422,00	1492,00		
6. Densidade da areia (g/cm³) *	1,414	1,414		
7. Volume do Furo (cm³) - 5/6	1005,658	1055,163		

* DADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO

UMIDADES - h	BASE			SUB-BASE			SUB-LEITO					
Cápsula Nº.	27	85		2	66							
Cáp. + Solo + Água (g)	130,71	122,9		101,4	112,56							
Cápsula + Solo (g)	123,38	115,98		94,13	104,84							
Cápsula (g)	16,39	16,17		16,523	16,861							
Água (g)	7,33	6,92		7,27	7,72							
Solo Seco (g)	106,99	99,81		77,61	87,98							
Umidade %	6,85%	6,93%		9,37%	8,77%							
8. Umidade Média %	6,89%			9,07%								

Furo Nº.			
9. Peso Total do Material do Furo (g)	2305,000	2505,000	
10. Densidade Úmida (g/cm³) - 9/7	2,292	2,374	
11. Dens. Apar. Solo Seco (g/cm³) - 10/8	2,144	2,177	
Profundidade do Furo (cm)	16	17	
Camada	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO

Obs.:

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO MANCHA DE AREIA	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.xxx	

NORMA RT 03-25

PISTA:	BR 040											
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**L6**	**Volume areia (mm³)**	**Diâmetro Médio Ds (mm)**	**Altura média Hs (mm)**	**OBS**
UA01 -40m	BD	Sul	230	220	235	220	235		25000	228	0,61	
UA01 -20m	BE	Sul	230	200	210	210	205		25000	211	0,71	
UA01 +0m	BD	Sul	210	250	240	245	240		25000	237	0,57	
UA01 +20m	BE	Sul	240	250	255	245	250		25000	248	0,52	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA HD 15/87 e HD 36/87

PISTA:	BR 040								
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**Média**	**OBS.:**
UA 1 -40 m	Direito	Sul	42	44	55	55	35	46,2	39°C
UA 1 -20 m	Esquerdo	Sul	60	43	55	41	40	47,8	39°C
UA 1	Direito	Sul	70	80	80	70	74	74,8	39°C
UA 1 +20 m	Esquerdo	Sul	65	75	70	79	82	74,2	39°C
UA 1 +40 m	direito	Sul	80	85	83	88	79	83,0	39°C

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
	ENSAIO TRELIÇA	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA DNIT 006/2003-PRO

PISTA:

Data	KM	Bordo	Sentido	Leitura (mm)	OBS.:
18/02/2016	UA 01	Direito	Sul	1	
18/02/2016	UA 01	Esquerdo	Norte	6	
18/02/2016	UA 01 -20m	Esquerdo	Norte	1	
18/02/2016	UA 01 -20m	Direito	Norte	2	
18/02/2016	UA 01 -40m	Esquerdo	Norte	2	
18/02/2016	UA 01 -40m	Direito	Norte	5	
18/02/2016	UA 01 +20m	Direito	Sul	6	
18/02/2016	UA 01 +20m	Esquerdo	Sul	10	
18/02/2016	UA 01 +40m	Direito	Sul	6	
18/02/2016	UA 01 +40m	Esquerdo	Sul	1	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
	ENSAIO DE DEFLEXÃO NORMA DNIT 133/2010 - ME	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.013	

DATA:	18/fev	KM INICIAL	97+550/GO	SENTIDO:	SUL	K VIGA	2
FAIXA:	1	KM FINAL	97+750/GO	OPERADOR:		GILSON	

CÁLCULO DA BACIA DE DEFLEXÃO

UA 01 - 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,13	0,14	0,16	0,2	0,23	0,25	0,25	0,25	50,000	
		Deflexão (0,01mm)	50,0	24,0	22,0	18,0	10,0	4,0	0,0	0,0	0,0		56,000
UA 01 - 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0,05	0,09	0,15	0,2	0,24	0,26	0,31	0,31	62,000	
		Deflexão (0,01 mm)	62,0	52,0	44,0	32,0	22,0	14,0	10,0	0,0	0,0		
UA 01	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,04	0,05	0,07	0,07	0,04	0,01	0,04	0,09	18,000	
		Deflexão (0,01mm)	18,0	10,0	8,0	4,0	4,0	10,0	16,0	10,0	0,0		50,000
UA 01	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (0,01 mm)	0	0,06	0,12	0,19	0,25	0,29	0,34	0,41	0,41	82,000	
		Deflexão (mm)	82,0	70,0	58,0	44,0	32,0	24,0	14,0	0,0	0,0		
UA 01 + 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,05	0,1	0,12	0,14	0,13	0,12	0,1	0,11	22,000	
		Deflexão (0,01mm)	22,0	12,0	2,0	-2,0	-6,0	-4,0	-2,0	2,0	0,0		51,000
UA 01 + 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0	0,09	0,16	0,2	0,26	0,3	0,38	0,4	80,000	
		Deflexão (0,01mm)	80,0	80,0	62,0	48,0	40,0	28,0	20,0	4,0	0,0		

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
43	Casc. Arenoso	Base	UA01			-	-	Guilherme

PERMEÂMETRO Nº.	2		Corpo de Prova Nº.			
Constante do Ensaio	2,08	2,3.(a.L)/A	Comprimento (cm)	L =	12,7	
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	Área (cm²)	A =	78,54	
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	Diâmetro (cm)	f =	10	
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	Peso (g)	Ph =	2301	
Volume do Corpo de Prova (cm³)	997,46	V = L.A	OBS.:			
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	2290	gh = Ph/v				
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	2116	gs = gh/(1+h)				
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1				
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})				

TEOR DE UMIDADE							Molde	Nº.	
	ANTES			DEPOIS			Diâmetro (cm)	Φ=	10
Cápsula Nº.	54	58					Área (cm²)	A =	78,54
Solo Úmido + Tara (g)	99,98	103,64					Bureta	Nº.	1
Solo Seco + Tara (g)	93,9	97,04					Diâmetro (cm)	Φ =	2,67
Tara (g)	19,7	16,44					Área (cm²)	a =	5,60
Solo Seco (g)	74,2	80,6					K_T =	1,98E-03	K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)
Água (g)	6,08	6,6							
Umidade - h	8,2%	8,2%					K_{20} =	1,76E-03	K_{20} = C_K.K_T
Média	8,2%								

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (ºC)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
13:08	13,93	70	177,5	167,5	1,0597015	0,0251835	3,76E-03	25	0,887	3,34E-03
13:08	26,4	60	167,5	157,5	1,0634921	0,0267343	2,11E-03	25	0,887	1,87E-03
13:08	33,21	50	157,5	147,5	1,0677966	0,0284885	1,79E-03	25	0,887	1,58E-03
13:08	49,14	40	147,5	137,5	1,0727273	0,0304893	1,29E-03	25	0,887	1,15E-03
13:09	71,47	30	137,5	127,5	1,0784314	0,0327925	9,55E-04	25	0,887	8,47E-04

Obs.:

FORMULÁRIO

ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL

PAGINA Nº	1/1
VERSÃO	00
DATA	07/01/2016
DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
42	Cascalho Siltoso	Subleito	UA 01		97 + 650/GO	-	-	Guilherme

PERMEÂMETRO Nº.	2		Corpo de Prova Nº.		5
Constante do Ensaio	2,08	2,3.(a.L)/A	Comprimento (cm)	L =	12,7
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	Área (cm²)	A =	78,54
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	Diâmetro (cm)	f =	10
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	Peso (g)	Ph =	2224
Volume do Corpo de Prova (cm³)	997,46	V = L.A	OBS.:		
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	2,23	gh = Ph/v			
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	2,06	gs = gh/(1+h)			
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1			
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})			

TEOR DE UMIDADE						
	ANTES			DEPOIS		
Cápsula Nº.	16	20				
Solo Úmido + Tara (g)	83,96	90,16				
Solo Seco + Tara (g)	79,11	84,77				
Tara (g)	18,53	17,45				
Solo Seco (g)	60,58	67,32				
Água (g)	4,85	5,39				
Umidade - h	8,0%	8,0%				
Média	8,0%					

Molde	Nº.		
Diâmetro (cm)	Φ=	10	
Área (cm²)	A =	78,54	
Bureta	Nº.	1	
Diâmetro (cm)	Φ =	2,67	
Área (cm²)	a =	5,60	
K_T =	3,46E-06	K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)	
K_{20} =	3,46E-06	K_{20} = C_K.K_T	

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (ºC)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
10:58	1500	80 - 78,2	313	311,2	1,0057841	0,0025047	3,48E-06	20	1,000	3,48E-06
11:23	1620	78,2 - 76	311,2	309,0	1,0071197	0,0030811	3,96E-06	20	1,000	3,96E-06
11:50	4740	76 - 71	309,0	304,0	1,0164474	0,0070849	3,11E-06	20	1,000	3,11E-06
13:09	3000	71 - 68	304,0	301,0	1,0099668	0,0043071	2,99E-06	20	1,000	2,99E-06
13:59	2100	68 - 65,4	301,0	298,4	1,0087131	0,0037677	3,73601E-06	20	1,000	3,74E-06
14:34										

Obs.:

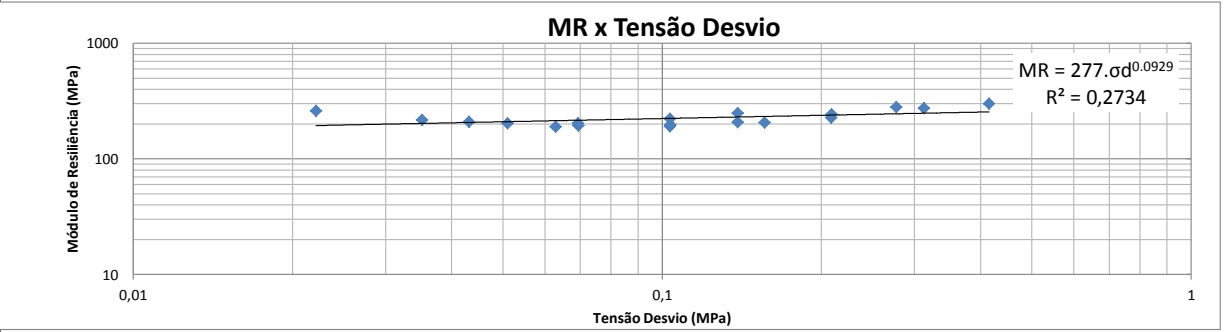
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.XXX

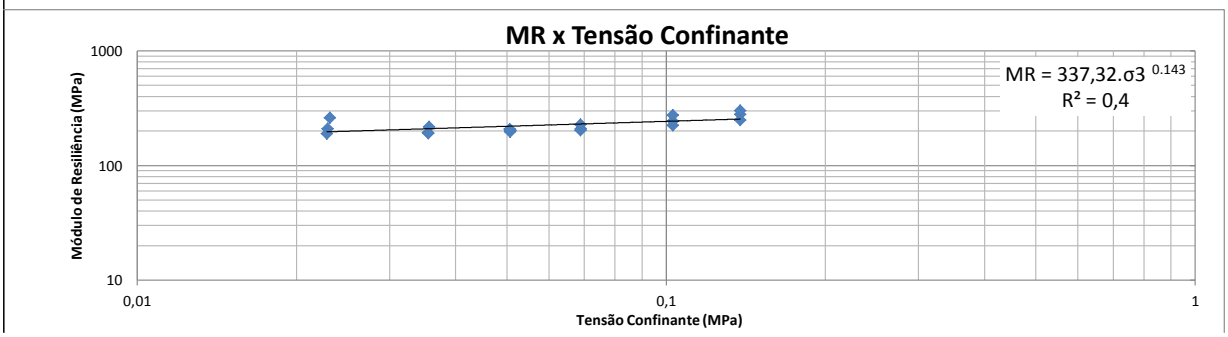
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
42			97+625 (UA01)	Subleito	Cascalho arenoso siltoso		31/05/2016

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	97,56	94,05	90,53	87,32	73,28	64,03	61,8	60,11	59,37	58,17	41,28	27,47
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-2-4	8,00		2,100		43,51		0,19			10X20	4	

Tensões de condicionamento			Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio (Média das 15 repetições por sequência)					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)		σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0	0,0207	0,0207	0,02315	0,02217	11,81%	7,12%	8,51E-05	260,583
0,0689	0,2068	0		0,0414	0,02292	0,04309	10,73%	4,08%	2,05E-04	210,034
0,1029	0,3090	0		0,0621	0,02284	0,06285	10,35%	1,21%	3,30E-04	190,385
		0	0,0345	0,0345	0,03564	0,03513	3,31%	1,82%	1,62E-04	217,074
		0		0,0689	0,03546	0,06943	2,77%	0,77%	3,56E-04	194,818
		0		0,1029	0,03547	0,10347	2,83%	0,55%	5,40E-04	191,768
		0	0,0504	0,0504	0,05073	0,05097	0,65%	1,14%	2,50E-04	203,918
		0		0,1029	0,05070	0,10363	0,60%	0,71%	5,25E-04	197,444
		0		0,1552	0,05056	0,15606	0,31%	0,55%	7,53E-04	207,140
		0	0,068	0,0689	0,06889	0,06930	1,30%	0,59%	3,40E-04	203,700
		0		0,1379	0,06891	0,13881	1,33%	0,66%	6,65E-04	208,754
		0		0,2068	0,06890	0,20873	1,32%	0,93%	9,15E-04	228,132
			0,1029	0,1029	0,10293	0,10347	0,03%	0,56%	4,63E-04	223,360
				0,2068	0,10290	0,20884	0,00%	0,98%	8,58E-04	243,312
				0,309	0,10289	0,31219	0,01%	1,03%	1,13E-03	275,075
			0,1379	0,1379	0,13789	0,13887	0,00%	0,70%	5,56E-04	249,767
				0,2747	0,13789	0,27706	0,01%	0,86%	9,89E-04	280,222
				0,412	0,13788	0,41481	0,01%	0,68%	1,38E-03	300,895





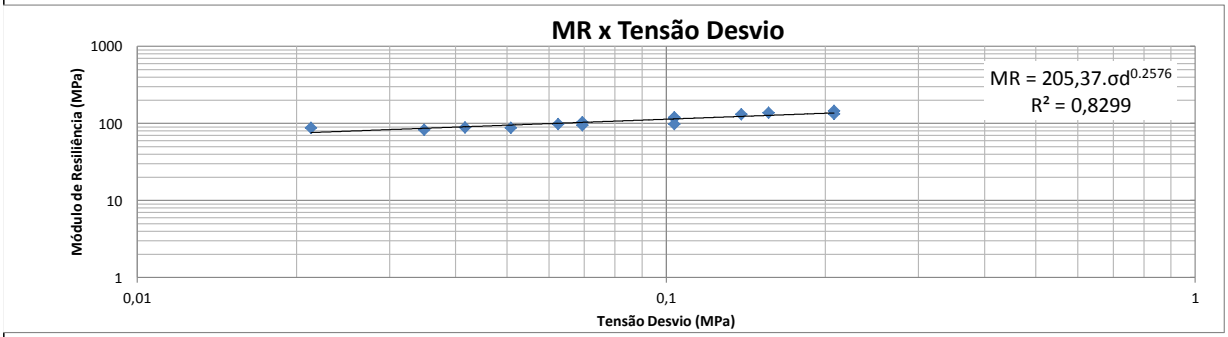
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

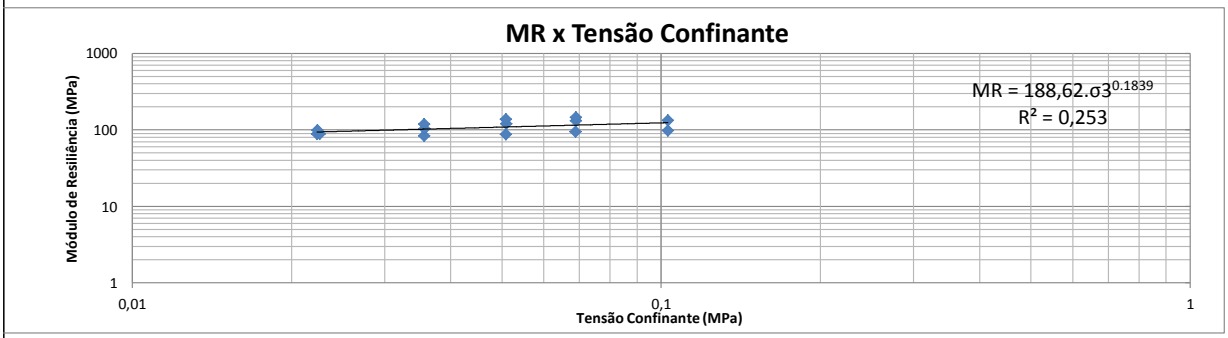
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
43			97+625 (UA01)	Base	Cascalho arenoso vermelho		31/05/2016

DADOS DA AMOSTRA

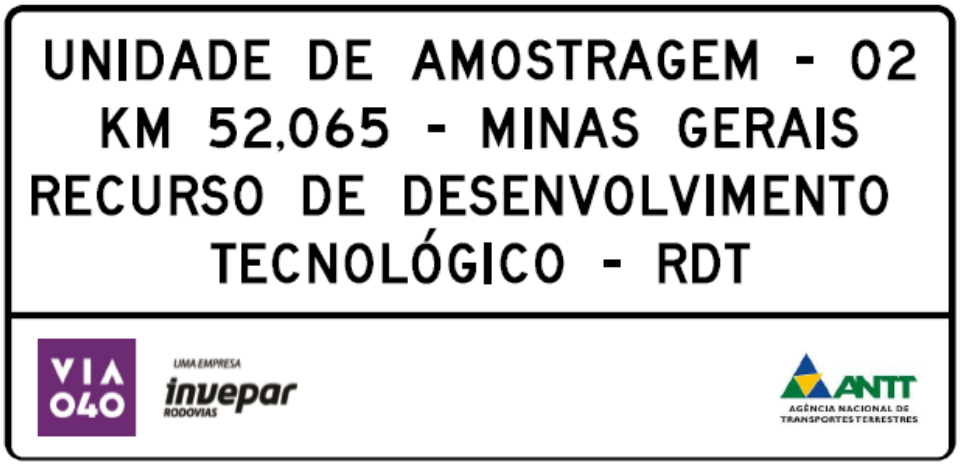
Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	98,76	96	92,35	85,31	63,93	40,82	35,73	32,17	31	28,8	14,76	8,22
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-1-b	8,05		2,145		209,84		0			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02234	0,02129	7,93%	2,86%	2,42E-04	88,121
0,0689	0,2068		0,0414	0,02261	0,04164	9,25%	0,58%	4,68E-04	88,969
0,1029	0,3090		0,0621	0,02239	0,06250	8,18%	0,64%	6,34E-04	98,617
		0,0345	0,0345	0,03564	0,03488	3,29%	1,12%	4,19E-04	83,230
			0,0689	0,03567	0,06937	3,40%	0,68%	6,69E-04	103,621
			0,1029	0,03562	0,10356	3,25%	0,64%	8,76E-04	118,260
		0,0504	0,0504	0,05083	0,05082	0,85%	0,83%	5,78E-04	87,892
			0,1029	0,05096	0,10352	1,11%	0,61%	8,64E-04	119,785
			0,1552	0,05087	0,15612	0,93%	0,59%	1,13E-03	138,270
		0,068	0,0689	0,06891	0,06937	1,34%	0,68%	7,31E-04	94,880
			0,1379	0,06892	0,13864	1,35%	0,53%	1,05E-03	131,762
			0,2068	0,06892	0,20765	1,36%	0,41%	1,43E-03	145,095
		0,1029	0,1029	0,10291	0,10364	0,01%	0,72%	1,06E-03	97,715
			0,2068	0,10292	0,20770	0,02%	0,44%	1,56E-03	132,857
			0,309						
		0,1379	0,1379						
			0,2747						
			0,412						





Observação:


UNIDADE DE AMOSTRAGEM - 02
KM 52,065 - MINAS GERAIS
RECURSO DE DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO - RDT
UMA EMPRESA
invepar
RODOVIAS
ANTT
AGÊNCIA NACIONAL DE
TRANSPORTES TERRESTRES

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS - VIA 040								
CAMPANHA DE CAMPO 01 - JANEIRO/FEVEREIRO - 2016								
QUADRO RESUMO								
UA 02		Km 52+065 / MG			Camada			
					CA	Base	Sub-Base	Subleito
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Caracterização	Granulometria	% passando	3 "	-	100,00	NÃO EXISTE CAMADA	100,00
				2 "	-	100,00		100,00
				1 1/2 "	-	100,00		100,00
				1 "	-	100,00		100,00
				3/4 "	-	94,31		100,00
				1/2 "	-	94,31		100,00
				3/8 "	-	81,02		98,61
				nº 4	-	60,19		96,45
				nº 8	-	43,98		92,38
				nº 10	-	40,95		91,71
				nº 16	-	34,68		91,49
				nº 30	-	28,20		91,12
				nº 40	-	25,23		90,95
				nº 50	-	22,72		90,80
				nº 80	-	22,72		90,80
				nº 100	-	18,63		90,50
				nº 200	-	16,76		90,26
		Espesura da camada (cm)			12,00	17,00		16,00
		Material			CBUQ	Cascalho Argiloso		Argila Vermelha
		L.L.			-	27,90		44,30
		L.P.			-	15,43		24,21
		I.P.			-	12,47		20,09
		I.G.			-	2		2
		Classificação H.R.B.			-	A-1-b		A-2-4
	Compactação	Dens. seca máx (g/cm³)			-	2,163		1,602
		Umidade ótima (%)			-	7,60		16,80
		CBR (%)			-	135,00		6,18
		Expansão (%)			-	0,00		0,37
	Módulo de Resiliência (Mpa)				-	-		-
	Permeabilidade (cm/s)				-			
ENSAIOS *IN SITU*	Umidade natural (%)				-	6,83	NÃO EXISTE CAMADA	17,63
	Densidade úmida (g/cm³)				-	2,318		1,853
	Dens. seca máx (g/cm³)				-	2,170		1,575
	Grau de Compactação (%)				-	100,32%		98,33%
	DCP - mm/golpe				-	-		-
	Mancha de Areia - Hs (mm)				0,53	-		-
	Pêndulo Britânico - VRD				57,84	-		-
	Medição de ATR (mm)				8,44	-		-
	Permeabilidade *in situ* (cm/s)				-	-		-
	Deflexão máxima - VB (0,01 mm)				-1400,00	-		-

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se IP ≤ LL -30, será A-7-5; Se IP > LL - 30, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

a = p - 35	(se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35)	a varia de 0 a 40 e *0,2* . a varia de 0 a 8.
b = p - 15	(se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15)	b varia de 0 a 40 e *0,01* . $b \cdot d$ varia de 0 a 8.
c = LL - 40	(se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40)	c varia de 0 a 20 e *0,005* . $a \cdot c$ varia de 0 a 4.
d = IP - 10	(se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10)	d varia de 0 a 20 e *0,01* . b . d varia de 0 a 8.

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	1,759762	16,75976
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	5	15

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	40	75
b= #200 -15	40	55
c = LL - 40	4	44
d= IP - 10	14	24

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

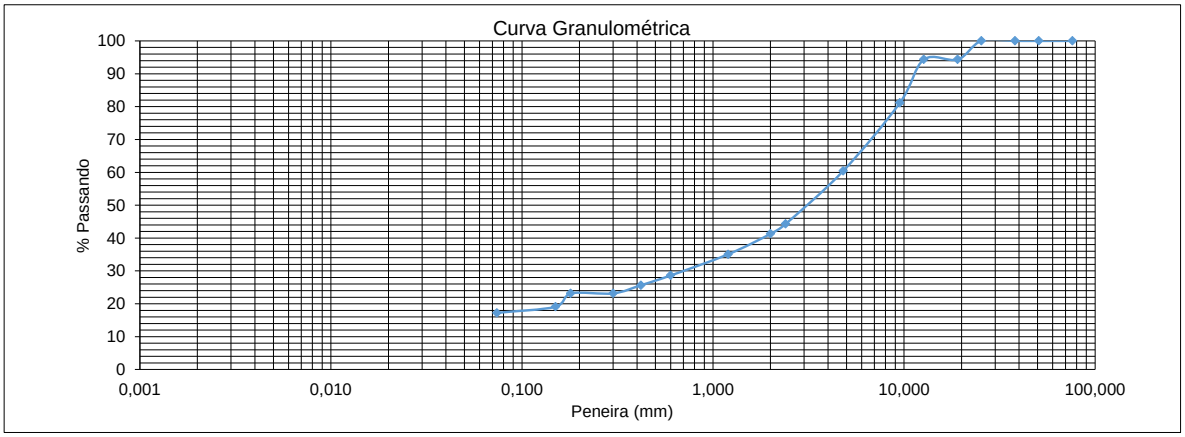
Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
53				UA02	Casc. Argiloso		Base	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	60	77	Pedregulho: acima 4,8 mm	39,81
Recipiente nº	Retido nº10	1174,10	C + S + A (g)	80,39	81,08	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	19,24
	Passando nº 10 úmida	825,90	C + S (g)	79,62	80,08	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	15,72
Retido nº 10	Peso da água	11,55	A = Água (g)	0,77	1	Areia Fina: entre nº 40 e 200	8,47
	Passando nº10 seca	814,345	C = Cápsula (g)	17,437	17,559	Passando nº 200	16,76
Recipiente nº:	Amostra Total Seca	1988,45	S = Solo (g)	62,183	62,521	TOTAL	100,00
	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	1,24	1,60	Retido: (nº 10 - nº 200)	24,19
	Amostra menor nº10 seca	197,20	Fator de Correção	0,9860			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0,00		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	113,10		5,69	5,69	94,31
1/2 pol	12,70	0,00		0,00	5,69	94,31
3/8 pol	9,50	264,40		13,30	18,98	81,02
nº 4	4,80	414,10		20,83	39,81	60,19
nº 8	2,40	322,30		16,21	56,02	43,98
nº 10	2,00	60,20		3,03	59,05	40,95
nº 16	1,20	30,20	15,31	6,27	65,32	34,68
nº 30	0,60	31,20	15,82	6,48	71,80	28,20
nº 40	0,42	14,30	7,25	2,97	74,77	25,23
nº 50	0,30	12,10	6,14	2,51	77,28	22,72
nº 80	0,18	0,00	0,00	0,00	77,28	22,72
nº 100	0,15	19,70	9,99	4,09	81,37	18,63
nº 200	0,074	9,00	4,56	1,87	83,24	16,76



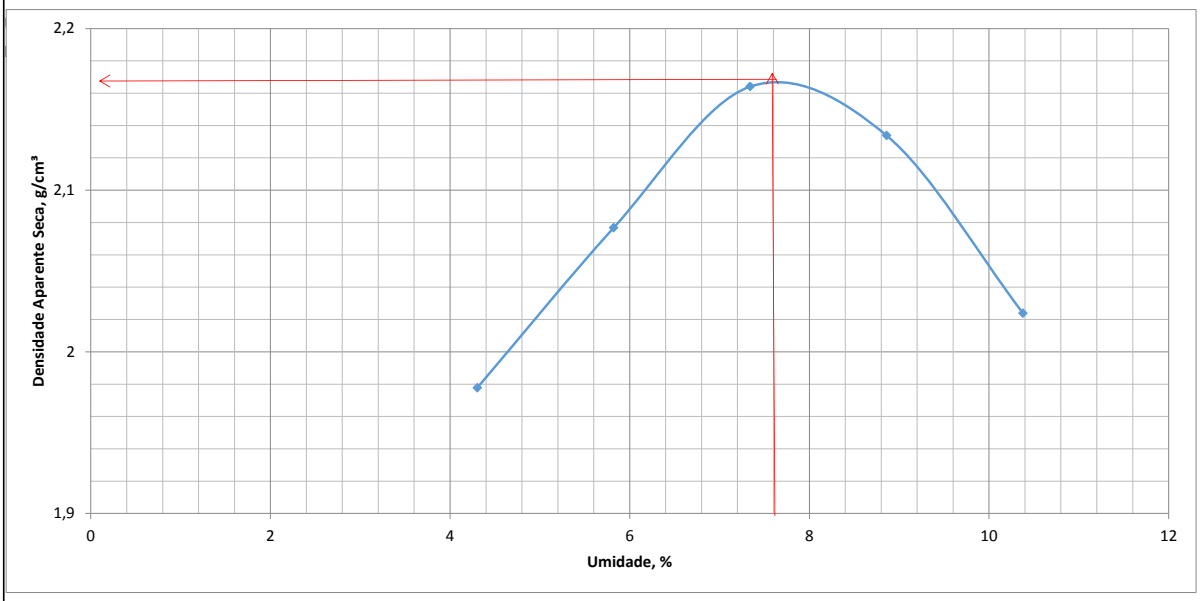
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.001

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
53	UA02		BASE	CASC.ARGILOSO	-	31/03/2016

% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
39,10%	MODIFICADO	55	**8.000,00**	7900,0	100,0	GILSON	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											5	6	
C + S + A (g)											575,1	605,5	
C + S (g)											567,6	599,5	
A - ÁGUA (g)											7,5	6,0	
C - CÁPSULA (g)											46,82	50,20	
S - SOLO (g)											520,8	549,3	
UMIDADE (%)											1,4	1,1	
UMIDADE MÉDIA											1,3		
UMID. ADOTADA (%)	4,30		5,82		7,34		8,86		10,38		FATOR DE CORREÇÃO		
UMIDADE CALCULADA (%)	4,30		5,82		7,34		8,86		10,38		0,9875		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,978		2,077		2,164		2,134		2,024		Moldes		
COMPACTAÇÃO											N°	Peso	Volume
CILINDRO Nº	12		2		3		5		11		2	5465	2084
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240		360		480		600		720		3	5530	2058
ÁGUA ADICIONADA (%)	3		4,5		6		7,5		9		5	5510	2030
M + S + A (g)	9680		10045		10310		10225		10150		11	5535	2066
M - MOLDE (g)	5450		5465		5530		5510		5535		12	5450	2051
S + A (g)	4230		4580		4780		4715		4615		**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
VOL. CILINDRO (cm³)	2051		2084		2058		2030		2066		7,6		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,063		2,198		2,323		2,323		2,234		**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	2,003		2,103		2,191		2,161		2,049		2,163		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94	VERSÃO	00
		DATA	
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.004	

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
53							

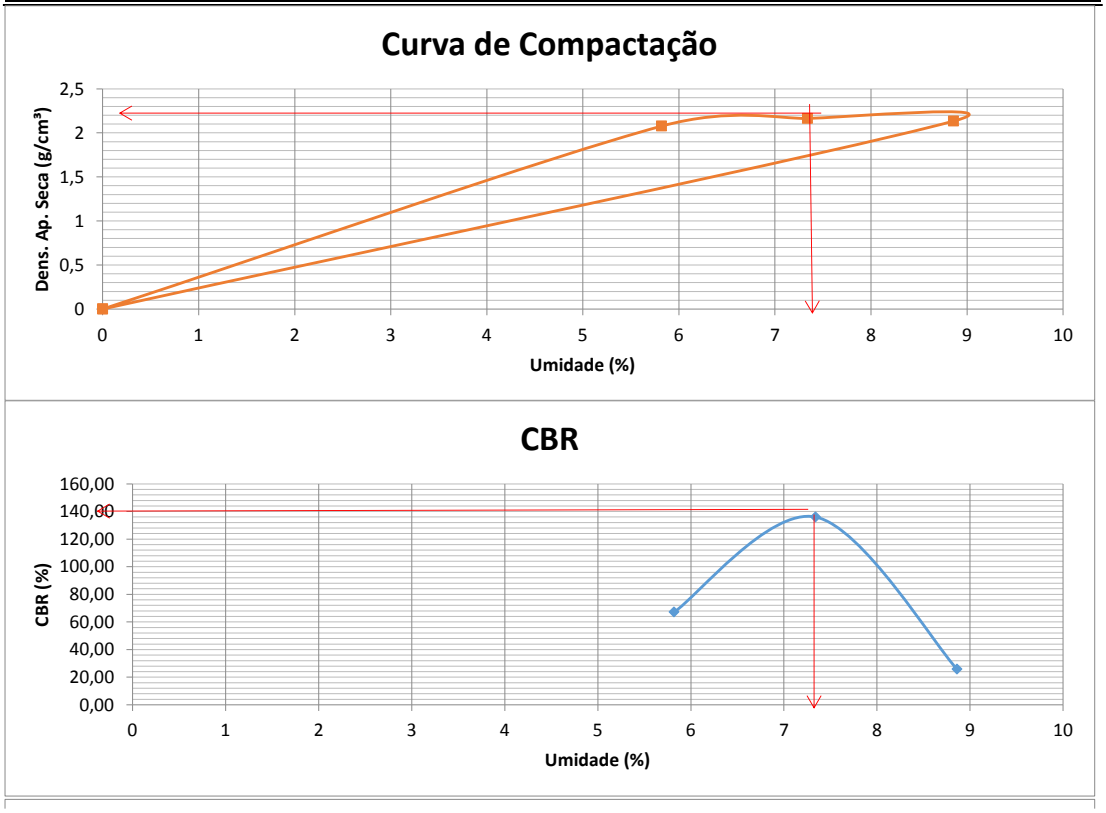
Cilindro nº		2	3	5		
Alturas dos CP´s		115,30	113,40	113,20		

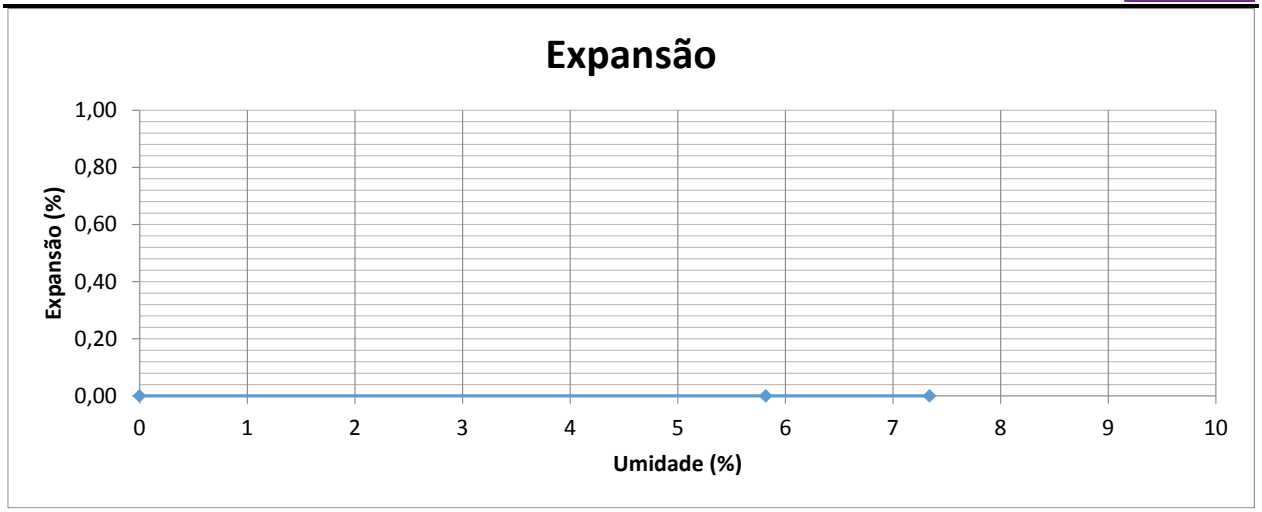
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
31/03/16	13:20			2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00		
31/03/16	13;20			2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00		
31/03/16	14:20			2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00		
31/03/16	13;21			2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00		
31/03/16	15:20			2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00		

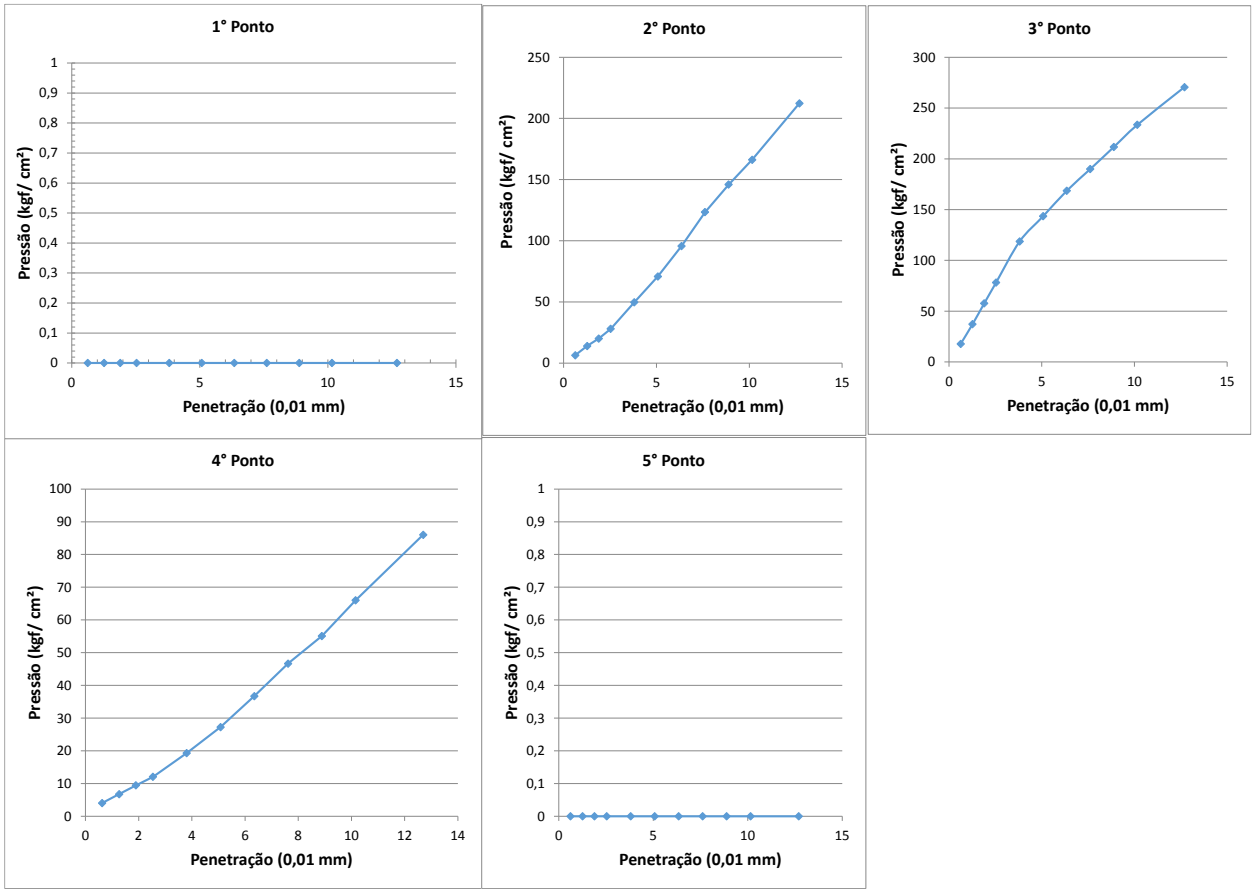
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

Anel dinamométrico nº							Constante do Anel			0,0967	
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63			67	6,5	185	17,9	42	4,1		
1	1,27			145	14,0	386	37,3	70	6,8		
1,5	1,90			208	20,1	598	57,8	98	9,5		
2	2,54			290	28,0	810	78,3	125	12,1		
3	3,81			515	49,8	1228	118,7	200	19,3		
4	5,08			733	70,9	1485	143,6	282	27,3		
5	6,35			990	95,7	1744	168,6	380	36,7		
6	7,62			1277	123,4	1965	190,0	483	46,7		
7	8,89			1510	146,0	2190	211,7	570	55,1		
8	10,16			1720	166,3	2416	233,6	683	66,0		
10	12,70			2197	212,4	2800	270,7	890	86,0		

ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm				39,8		111,3		17,2		
I.S.C. 5,08 mm				67,1		136,0		25,8		

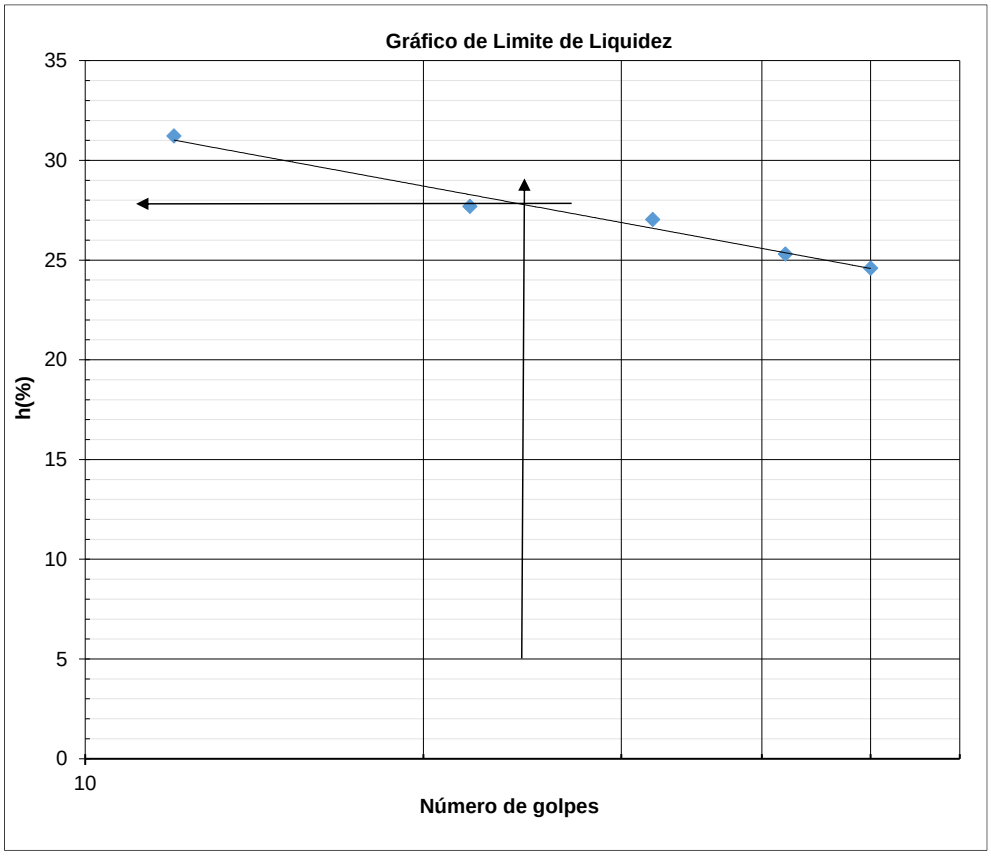



Expansão
Expansão (%)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Umidade (%)


1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)
2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)
3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)
4° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)
5° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
53							**Guilherme**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº	40	28	81	64	57			
Cápsula+Solo Úmido (g)	16,83	17,70	18,65	15,95	17,83			
Cápsula+Solo Seco (g)	15,00	15,82	16,50	14,06	15,46			
Peso da Água (g)	1,83	1,88	2,15	1,89	2,37			
Peso da Cápsula (g)	7,56	8,39	8,55	7,23	7,87			
Peso do Solo Seco (g)	7,44	7,43	7,95	6,83	7,59			
Teor de Umidade (%)	24,59	25,29	27,03	27,69	31,23			
Nº de golpes	50	42	32	22	12			
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº	65	93	97	20	22			
Cápsula+Solo Úmido (g)	8,54	8,05	8,94	8,62	7,97			
Cápsula+Solo Seco (g)	8,37	7,87	8,80	8,46	7,83			
Peso da Água (g)	0,17	0,18	0,14	0,16	0,14			
Peso da Cápsula (g)	7,29	6,69	7,90	7,39	6,92			
Peso do Solo Seco (g)	1,08	1,18	0,90	1,07	0,92			
Teor de Umidade (%)	15,79	15,28	15,49	15,28	15,30			
Umidade Média	15,43		Limite Superior		16,20	Limite Inferior		14,66
Verificação dos Limites	15,79	15,28	15,49	15,28	15,30			

Umidade Natural (h)	6,83	Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)	27,9	
Limite de Plasticidade (LP)	15,43	
Índice de Plasticidade (IP)	12,4733	1,69

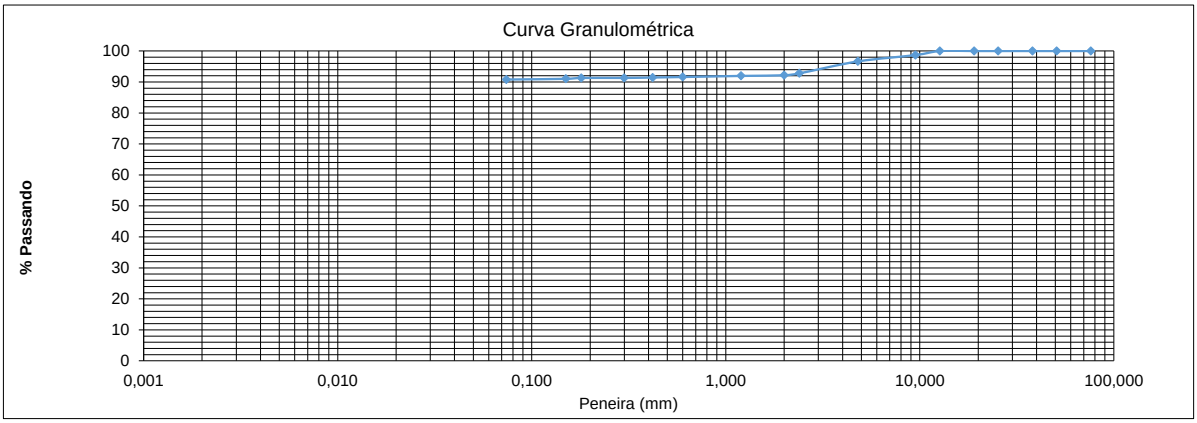


	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS		VERSÃO	00
	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.005	

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
52				UA02			Subleito	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	9	32	Pedregulho: acima 4,8 mm	3,55
Recipiente nº	Retido nº10	156,50	C + S + A (g)	86,35	97,37	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	4,74
	Passando nº 10 úmida	1843,50	C + S (g)	82,22	92,47	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	0,76
Retido nº 10	Peso da água	112,00	A = Água (g)	4,13	4,9	Areia Fina: entre nº 40 e 200	0,69
	Passando nº10 seca	1731,5	C = Cápsula (g)	18,634	16,396	Passando nº 200	90,26
Recipiente nº:	Amostra Total Seca	1888	S = Solo (g)	63,586	76,074	TOTAL	100,00
	Amostra menor nº10 úmida	2000,00	Umidade (%)	6,50	6,44	Retido: (nº 10 - nº 200)	1,45
	Amostra menor nº10 seca	1878,50	Fator de Correção	0,9392			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0,00		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1/2 pol	12,70	0,00		0,00	0,00	100,00
3/8 pol	9,50	26,20		1,39	1,39	98,61
nº 4	4,80	40,90		2,17	3,55	96,45
nº 8	2,40	76,80		4,07	7,62	92,38
nº 10	2,00	12,60		0,67	8,29	91,71
nº 16	1,20	4,50	0,24	0,22	8,51	91,49
nº 30	0,60	7,60	0,40	0,37	8,88	91,12
nº 40	0,42	3,50	0,19	0,17	9,05	90,95
nº 50	0,30	3,00	0,16	0,15	9,20	90,80
nº 80	0,18	0,00	0,00	0,00	9,20	90,80
nº 100	0,15	6,30	0,34	0,31	9,50	90,50
nº 200	0,074	4,90	0,26	0,24	9,74	90,26



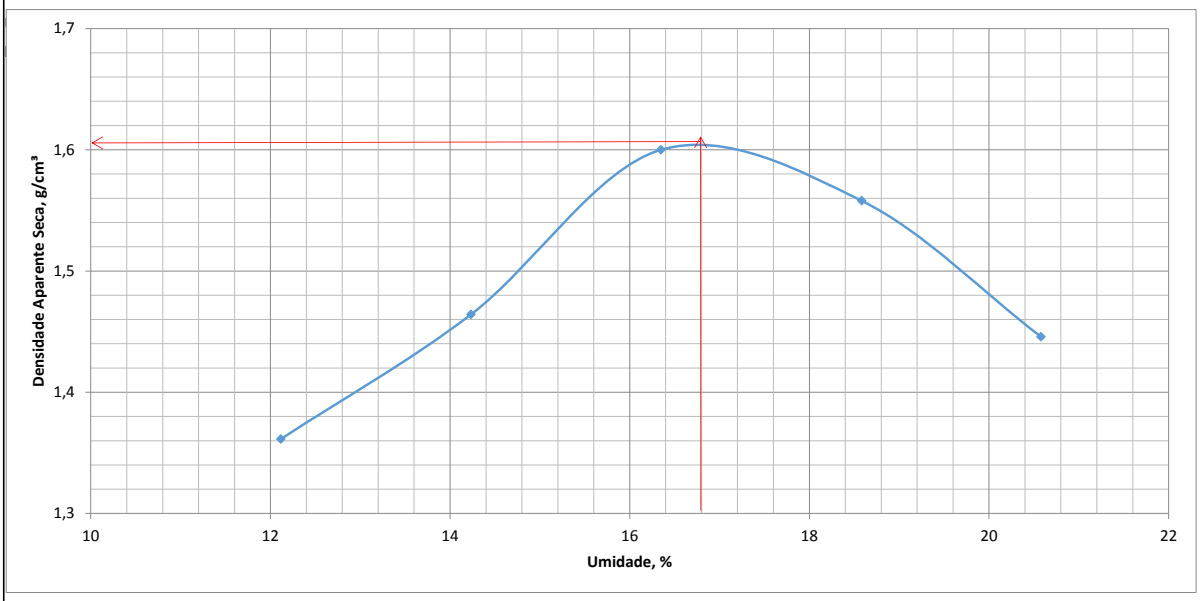
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.001

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
52		UA02	SUB-LEITO	ARGILA	-	24/03/2016

% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
5,60%	NORMAL	12	**8.000,00**	7563,5	436,5	GILSON	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											6	8	
C + S + A (g)											421,05	495,80	
C + S (g)											400,93	471,38	
A - ÁGUA (g)											20,1	24,4	
C - CÁPSULA (g)											50,20	50,70	
S - SOLO (g)											350,7	420,7	
UMIDADE (%)											5,7	5,8	
UMIDADE MÉDIA											5,8		
UMID. ADOTADA (%)	12,12		14,23		16,35		18,58		20,58		FATOR DE CORREÇÃO		
UMIDADE CALCULADA (%)	12,12		14,23		16,35		18,58		20,58		0,9454		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,361		1,464		1,600		1,558		1,446		Moldes		
COMPACTAÇÃO											N°	Peso	Volume
CILINDRO Nº	17		6		13		5		15		17	5475	2046
ÁGUA ADICIONADA (ml)	480		640		800		969		1120		6	5515	2057
ÁGUA ADICIONADA (%)	6		8		10		12		114		13	5495	2098
M + S + A (g)	8598		8955		9400		9260		9030		5	5510	2030
M - MOLDE (g)	5475		5515		5495		5510		5460		15	5460	2048
S + A (g)	3123		3440		3905		3750		3570		**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
VOL. CILINDRO (cm³)	2046		2057		2098		2030		2048		16,8		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	1,526		1,672		1,862		1,847		1,743		**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	1,440		1,549		1,692		1,649		0,815		1,602		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94	VERSÃO	00
		DATA	
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.004	

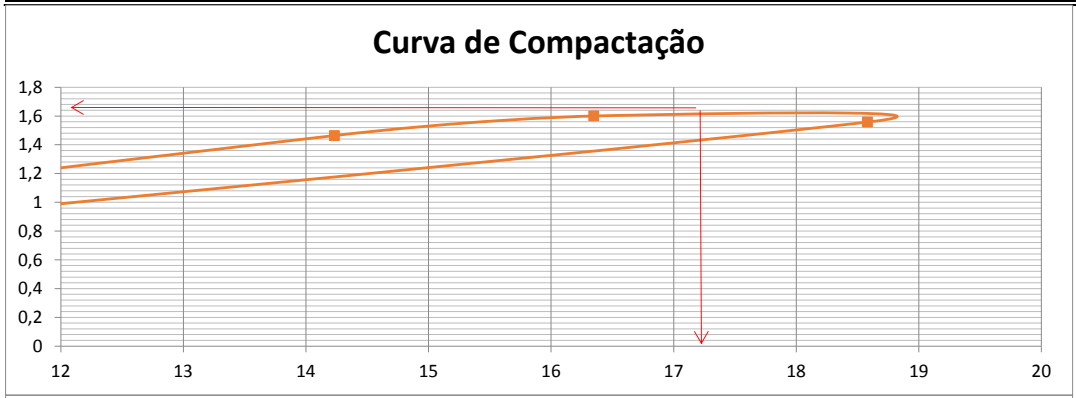
REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
52	Argila Vermelha	Sub leito	UA02	260	12		Guilherme

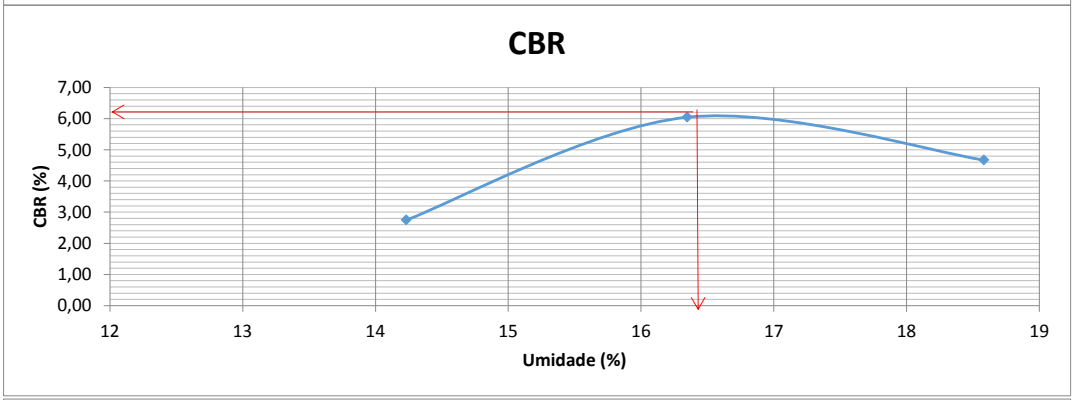
Cilindro nº			6		13		5			
Alturas dos CP´s			113,20		115,30		113,20			
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
24/03/16	13:20			2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00		
25/03/16	13;20			2,28	0,00	2,06	0,00	2,05	0,00		
26/03/16	14:20			2,37	0,00	2,12	0,00	2,10	0,00		
27/03/16	13;21			2,59	0,00	2,29	0,00	2,14	0,00		
28/03/16	15:20			2,84	0,00	2,46	0,00	2,20	0,00		

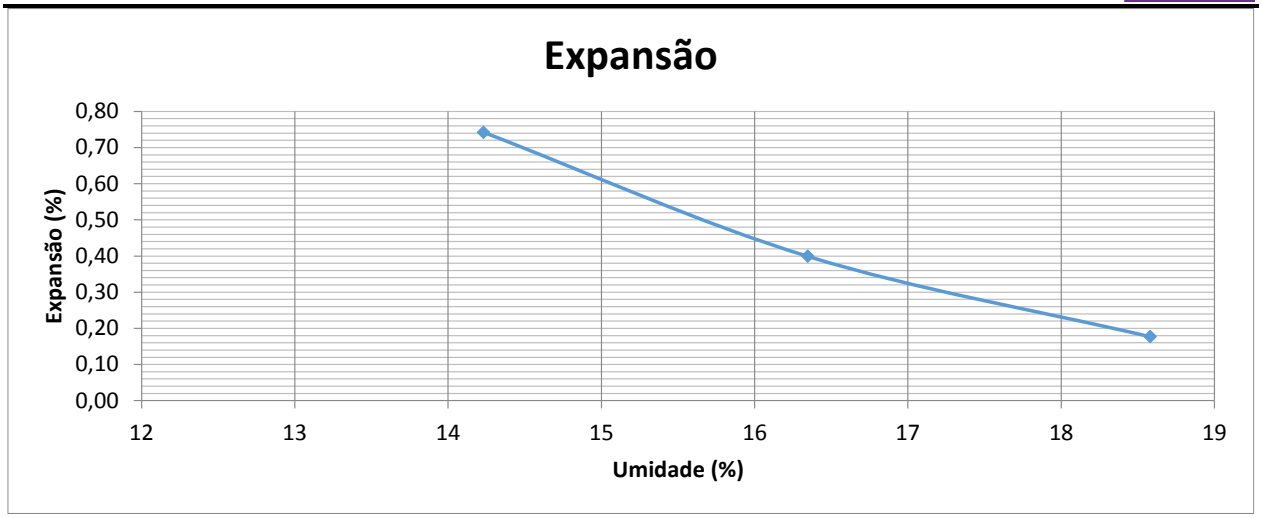
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

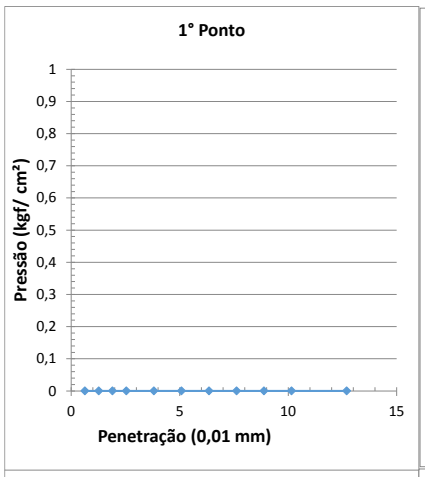
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel			0,0967	
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63			14	1,4	26	2,5	24	2,3		
1	1,27			16	1,5	32	3,1	27	2,6		
1,5	1,90			18	1,7	39	3,8	31	3,0		
2	2,54			20	1,9	44	4,3	34	3,3		
3	3,81			21	2,0	48	4,6	40	3,9		
4	5,08			22	2,1	51	4,9	44	4,3		
5	6,35			23	2,2	54	5,2	48	4,6		
6	7,62			24	2,3	57	5,5	53	5,1		
7	8,89			25	2,4	60	5,8	57	5,5		
8	10,16			26	2,5	64	6,2	62	6,0		
10	12,70			28	2,7	69	6,7	68	6,6		

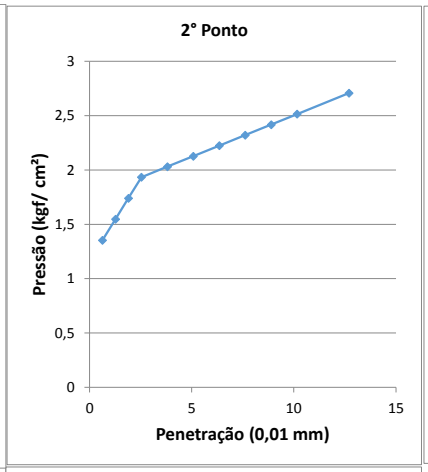
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm				2,7		6,0		4,7		
I.S.C. 5,08 mm				2,0		4,7		4,0		

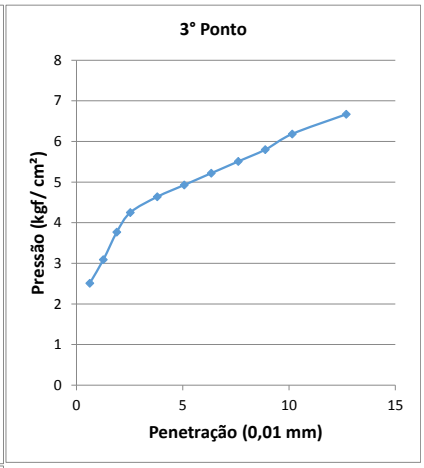


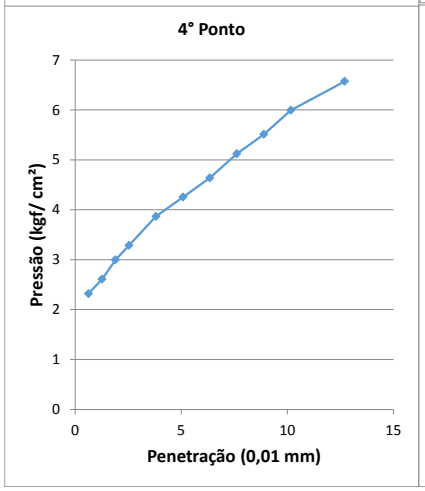


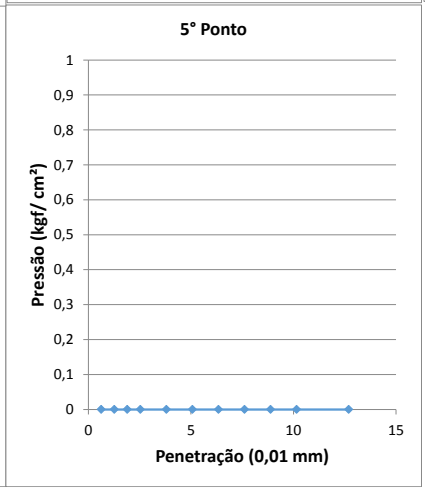

Expansão
Expansão (%)
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
12
13
14
15
16
17
18
19
Umidade (%)


1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)

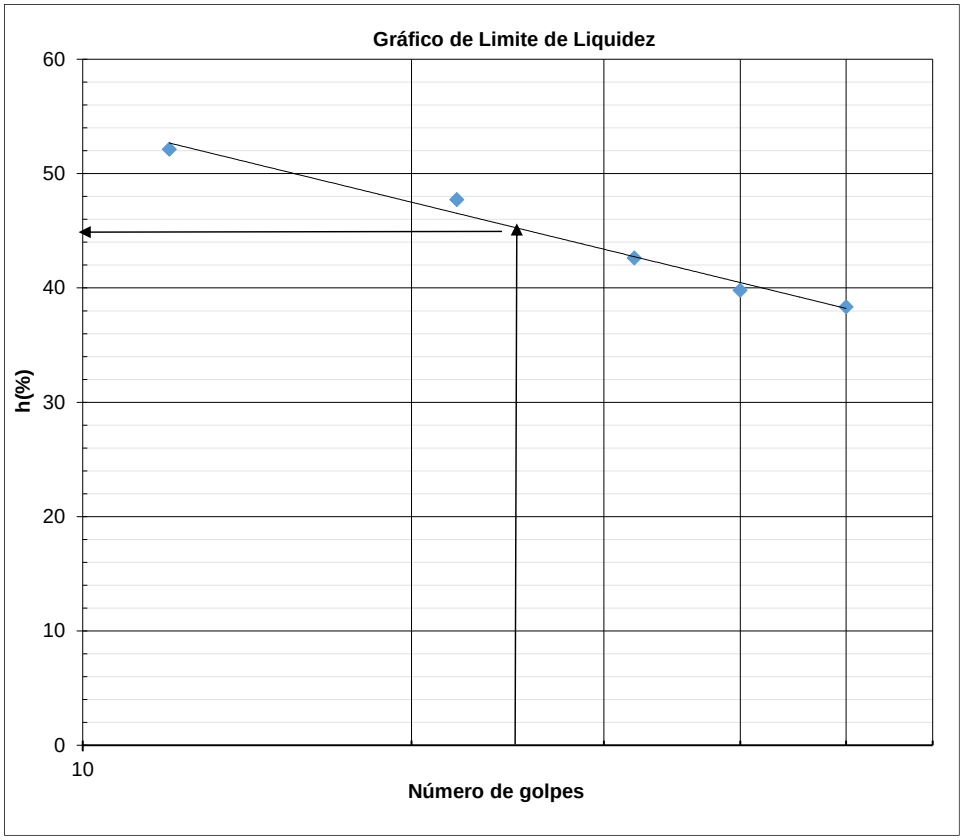

3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)


4° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)


5° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)

						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
52	**52+050**	**Sul**			**UA 02**		**Guilherme**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº	13	50	74	8	71			
Cápsula+Solo Úmido (g)	16,35	17,63	16,27	17,55	18,23			
Cápsula+Solo Seco (g)	13,98	14,82	13,62	14,20	14,66			
Peso da Água (g)	2,37	2,81	2,65	3,35	3,57			
Peso da Cápsula (g)	7,80	7,76	7,40	7,18	7,81			
Peso do Solo Seco (g)	6,18	7,06	6,22	7,02	6,85			
Teor de Umidade (%)	38,35	39,80	42,62	47,73	52,13			
Nº de golpes	50	40	32	22	12			
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº	78	53	31	66	23			
Cápsula+Solo Úmido (g)	8,99	8,62	8,91	8,74	9,01			
Cápsula+Solo Seco (g)	8,79	8,43	8,72	8,57	8,82			
Peso da Água (g)	0,20	0,19	0,19	0,17	0,19			
Peso da Cápsula (g)	7,97	7,63	7,94	7,86	8,04			
Peso do Solo Seco (g)	0,82	0,80	0,78	0,71	0,78			
Teor de Umidade (%)	24,48	23,66	24,48	23,94	24,48			
Umidade Média	24,21		Limite Superior		25,42	Limite Inferior		23,00
Verificação dos Limites	24,48	23,66	24,48	23,94	24,48			

Umidade Natural (h)	17,6	Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)	44,3	
Limite de Plasticidade (LP)	24,21	
Índice de Plasticidade (IP)	20,09	1,33



	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DENSIDADE "*in situ*"	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.XXX	

NORMA DNER 092/94

DATA:	**19/02/2016**	**KM INICIAL:**	**UA02**	**KM FINAL:**	
SENTIDO:		**FAIXA:**		**OPERADOR:**	

1. Peso Frasco Antes	7000	7000		
2. Peso Frasco Depois	5170	4940		
3. Peso Areia Deslocada	1830	2060		
4. Peso Areia no Cone*	488	488		
5. Peso Areia no Furo	1342	1572,00		
6. Densidade da areia (g/cm³) *	1,414	1,414		
7. Volume do Furo (cm³) - 5/6	949,08	1111,740		

* DADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO

UMIDADES - h	CAMPO			LABORATÓRIO			CAMPO			LABORATÓRIO		
Cápsula Nº.	14	54		32	68							
Cáp. + Solo + Água (g)	105,86	111,07		105,86	106,49							
Cápsula + Solo (g)	100,33	105,24		92,44	93,07							
Cápsula (g)	5,53	5,83		13,42	13,42							
Água (g)	19,48	19,70		16,40	16,87							
Solo Seco (g)	80,85	85,54		76,04	76,20							
Umidade %	6,8	6,8		17,6	17,6							
8. Umidade Média %	6,8			17,6								
Furo Nº.												
9. Peso Total do Material do Furo (g)	2200			2060								
10. Densidade Úmida (g/cm³) - 9/7	2,318			1,853								
11. Dens. Apar. Solo Seco (g/cm³) - 10/8	2,170			1,575								
Profundidade do Furo (cm)	17			16								
Camada	Base			Sub-base			subleito					
Data:												

CONFRONTO DOS RESULTADOS

Densidade Aparente Máxima	2,167	1,602		
Densidade do Campo	2,170	1,6		
Umidade Ótima	7,6	16,8		
Umidade de Campo	6,8	17,6		
Grau de Compactação	100,1	98,3		

OBSERVAÇÕES:

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº		1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO MANCHA DE AREIA E PÊNDULO BRITÂNICO	VERSÃO		00
		DATA		07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.xxx		

NORMA RT 03-25

PISTA:				MANCHA DE AREIA									PÊNDULO BRITÂNICO								
Data	Km	Bordo	Sentido	L1	L2	L3	L4	L5	Volume areia (mm³)	Diâmetro Médio Ds (mm)	Altura média Hs (mm)	Sp	L1	L2	L3	L4	Média	Temp. (°C)	FR60	F60	Classificação IFI
	UA02 -40m	BD	Sul	230	255	255	230	250	25000	244	0,53	49,14	53	38	55	56	50,4	41	18	0,20	BOM
	UA02 -20m	BE	Sul	250	275	240	255	235	25000	251	0,51	45,80	38	75	65	60	61,6	41	21	0,22	BOM
	UA02 +0m	BD	Sul	240	250	250	265	250	25000	251	0,51	45,80	60	77	75	48	69	41	23	0,24	BOM
	UA02 +20m	BE	Sul	220	225	230	225	240	25000	228	0,61	57,96	45	65	50	50	51,2	41	22	0,23	BOM
	UA02 +40m	BD	Sul	255	245	245	250	250	25000	249	0,51	46,72	65	45	65	60	57	41	20	0,21	BOM

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
	ENSAIO TRELIÇA	VERSÃO	0
		DATA	
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.

NORMA DNIT 006/2003-PRO

PISTA:2

Data	KM	Bordo	Sentido	Leitura (mm)	OBS.:
19/02/2016	UA 02 -40m	Direito	Norte	8	
19/02/2016	UA 02 -40m	Esquerdo	Norte	13	
19/02/2016	UA 02 -20m	Direito	Norte	5	
19/02/2016	UA 02 -20m	Esquerdo	Norte	11	
19/02/2016	UA 02	Direito	Norte	5	
19/02/2016	UA 02 +20m	Direito	Sul	5	
19/02/2016	UA 02 +20m	Esquerdo	Sul	11	
19/02/2016	UA 02 +40m	Direito	Sul	6	
19/02/2016	UA 02 +40m	Esquerdo	Sul	12	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
	ENSAIO DE DEFLEXÃO NORMA DNIT 133/2010 - ME	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.013

DATA:	18/fev	KM INICIAL	Km 52+065 / MG	SENTIDO:	SUL	K VIGA	2
FAIXA:	1	KM FINAL	Km 52+065 / MG	OPERADOR:		GILSON	

CÁLCULO DA BACIA DE DEFLEXÃO

UA 02 - 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,02	0,02	4,000	
		Deflexão (0,01mm)	4,0	2,0	2,0	4,0	2,0	2,0	4,0	0,0	0,0		
UA 02 - 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	16,000
		Leitura (mm)	0	0,02	0,05	0,07	0,08	0,1	0,12	0,13	0,14	28,000	
		Deflexão (0,01 mm)	28,0	24,0	18,0	14,0	12,0	8,0	4,0	2,0	0,0		
UA 02	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,03	0,06	0,08	0,08	0,1	0,1	0,12	0,08	16,000	
		Deflexão (0,01mm)	16,0	10,0	4,0	0,0	0,0	-4,0	-4,0	-8,0	0,0		
UA 02	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	12,000
		Leitura (0,01 mm)	0	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	8,000	
		Deflexão (mm)	8,0	0,0	0,0	-2,0	-2,0	-4,0	-2,0	-2,0	0,0		
UA 02 + 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)											
		Deflexão (0,01mm)											
UA 02 + 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)											
		Deflexão (0,01mm)											

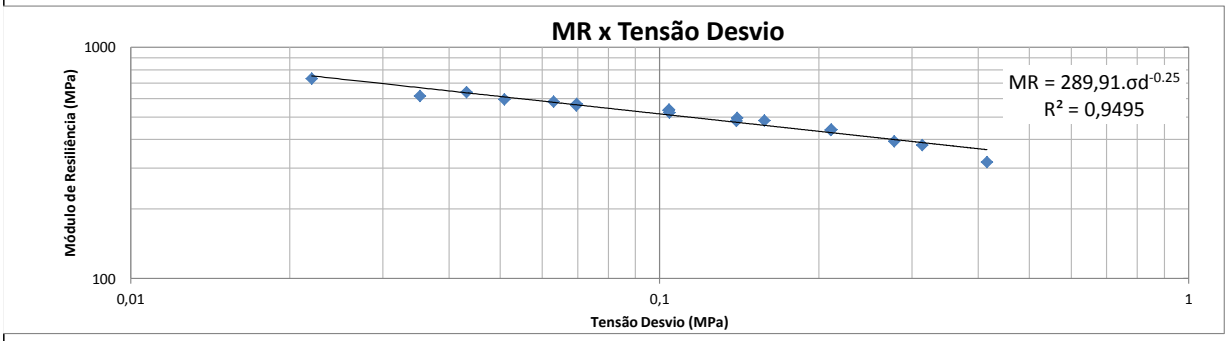
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

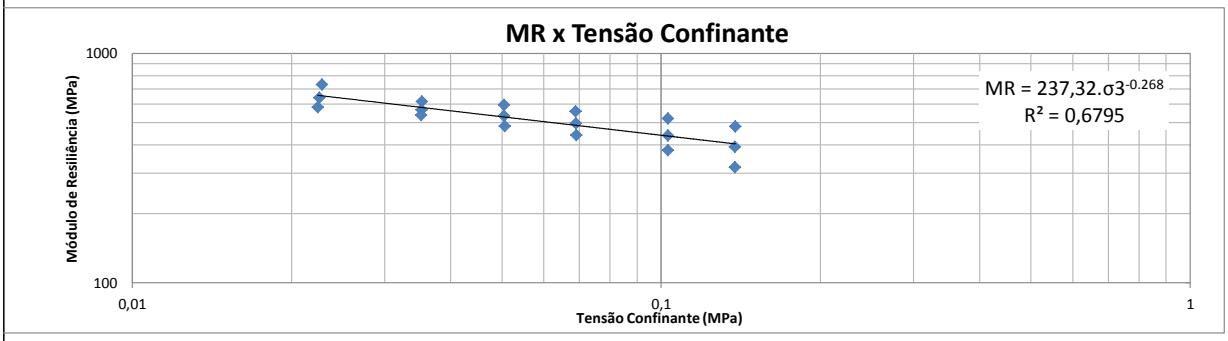
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
52			52+065 (UA02)	Subleito	Argila		01/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	24,21	100	100	100	98,61	96,45	91,71	91,49	91,12	90,95	90,8	90,5	90,26
IP	20,09	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	2	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-2-4	16,80		1,602		6,18		0,37			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02283	0,02200	10,31%	6,28%	3,04E-05	733,243
0,0689	0,2068		0,0414	0,02258	0,04317	9,07%	4,27%	6,75E-05	640,072
0,1029	0,3090		0,0621	0,02243	0,06300	8,34%	1,45%	1,08E-04	582,266
		0,0345	0,0345	0,03526	0,03524	2,20%	2,16%	5,72E-05	616,244
			0,0689	0,03521	0,06971	2,07%	1,17%	1,23E-04	568,917
			0,1029	0,03514	0,10426	1,86%	1,32%	1,94E-04	538,669
		0,0504	0,0504	0,05041	0,05089	0,03%	0,96%	8,53E-05	596,459
			0,1029	0,05041	0,10396	0,01%	1,03%	1,94E-04	535,145
			0,1552	0,05063	0,15777	0,46%	1,66%	3,27E-04	483,056
		0,068	0,0689	0,06891	0,06955	1,34%	0,95%	1,24E-04	560,164
			0,1379	0,06894	0,14005	1,38%	1,56%	2,82E-04	496,146
			0,2068	0,06906	0,21124	1,56%	2,15%	4,80E-04	440,233
		0,1029	0,1029	0,10290	0,10438	0,00%	1,44%	2,00E-04	521,423
			0,2068	0,10290	0,21041	0,00%	1,74%	4,79E-04	439,642
			0,309	0,10289	0,31392	0,01%	1,59%	8,30E-04	378,059
		0,1379	0,1379	0,13793	0,13970	0,02%	1,31%	2,91E-04	480,419
			0,2747	0,13789	0,27756	0,01%	1,04%	7,08E-04	392,206
			0,412	0,13788	0,41576	0,02%	0,91%	1,30E-03	319,126





Observação:

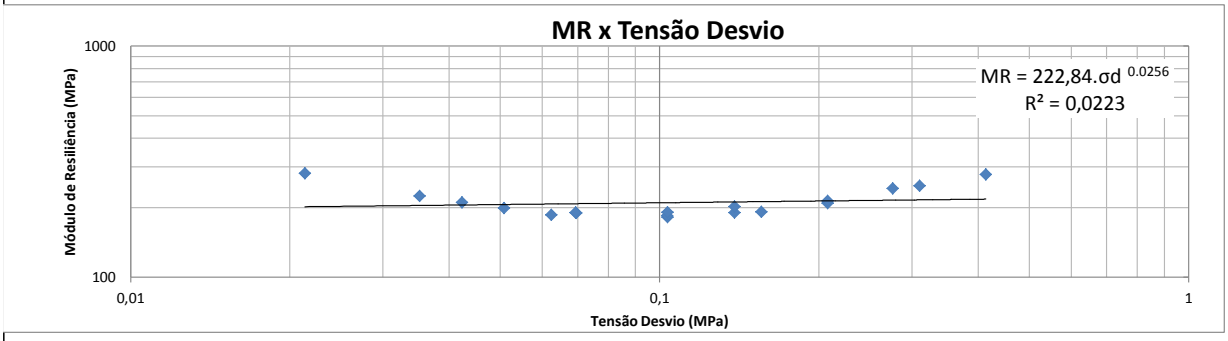
	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

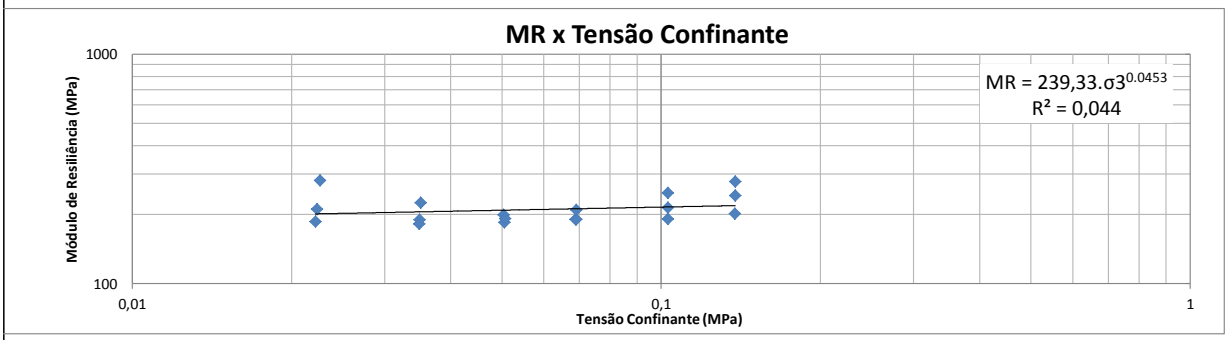
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
53			52+065	Base	Cascalho arenoso		01/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

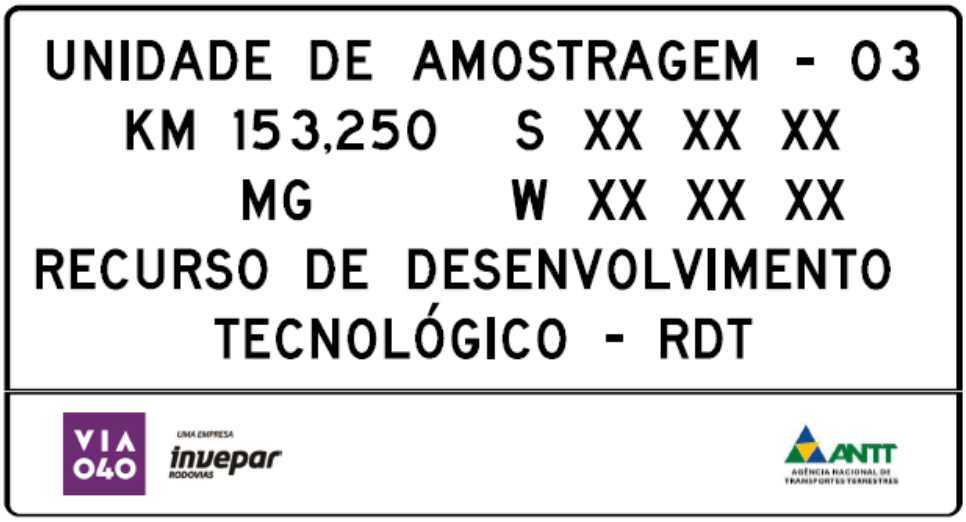
Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	15,43	100	94,31	94,31	81,02	60,19	40,95	34,68	28,2	25,23	22,72	18,63	16,76
IP	12,47	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	2	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-1-b	7,60		2,163		135		0,00			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02264	0,02134	9,36%	3,10%	7,56E-05	282,282
0,0689	0,2068		0,0414	0,02235	0,04233	7,97%	2,24%	2,00E-04	211,156
0,1029	0,3090		0,0621	0,02219	0,06246	7,19%	0,57%	3,35E-04	186,587
		0,0345	0,0345	0,03509	0,03517	1,70%	1,95%	1,56E-04	225,277
			0,0689	0,03493	0,06953	1,23%	0,91%	3,66E-04	189,812
			0,1029	0,03487	0,10347	1,08%	0,56%	5,68E-04	182,122
		0,0504	0,0504	0,05039	0,05076	0,02%	0,71%	2,54E-04	199,759
			0,1029	0,05048	0,10341	0,15%	0,49%	5,59E-04	185,038
			0,1552	0,05068	0,15579	0,56%	0,38%	8,11E-04	191,991
		0,068	0,0689	0,06891	0,06937	1,33%	0,69%	3,64E-04	190,545
			0,1379	0,06906	0,13853	1,55%	0,46%	7,26E-04	190,850
			0,2068	0,06904	0,20772	1,53%	0,44%	9,91E-04	209,577
		0,1029	0,1029	0,10286	0,10345	0,03%	0,53%	5,41E-04	191,241
			0,2068	0,10288	0,20773	0,02%	0,45%	9,69E-04	214,451
			0,309	0,10287	0,31007	0,03%	0,35%	1,25E-03	248,540
		0,1379	0,1379	0,13788	0,13849	0,02%	0,43%	6,85E-04	202,227
			0,2747	0,13792	0,27575	0,02%	0,38%	1,14E-03	242,309
			0,412	0,13790	0,41347	0,00%	0,36%	1,49E-03	278,319





Observação:


UNIDADE DE AMOSTRAGEM - 03
KM 153,250 S XX XX XX
MG W XX XX XX
RECURSO DE DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO - RDT
VIA 040
UMA EMPRESA
invepar
RODOVIAS
ANTT
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS - VIA 040								
CAMPANHA DE CAMPO 01 - JANEIRO/FEVEREIRO - 2016								
QUADRO RESUMO								
UA 03		Km 152+250 / MG			Camada			
					CA	Base	Sub-Base	Subleito
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Caracterização	Granulometria	% passando	3 "	-	100,00	CAMADA NÃO EXISTENTE	100,00
				2 "	-	100,00		100,00
				1 1/2 "	-	100,00		100,00
				1 "	-	100,00		100,00
				3/4 "	-	100,00		100,00
				1/2 "	-	100,00		100,00
				3/8 "	-	100,00		100,00
				nº 4	-	100,00		100,00
				nº 8	-	100,00		100,00
				nº 10	-	99,86		100,00
				nº 16	-	99,55		99,95
				nº 30	-	93,33		90,26
				nº 40	-	79,57		78,31
				nº 50	-	68,66		61,08
				nº 80	-	45,66		49,05
				nº 100	-	36,85		29,44
				nº 200	-	23,29		20,37
		Espesura da camada (cm)			10,00	17,00		20,00
		Material			CBUQ	Argila Arenosa		Silte Rosa
		L.L.			-	NL		NL
		L.P.			-	NP		NP
		I.P.			-	0		0
		I.G.			-	0		0
		Classificação H.R.B.			-	A-2-4		A-2-4
	Compactação	Dens. seca máx (g/cm³)			-	2,060		2
		Umidade ótima (%)			-	7,90		6,80
		CBR (%)			-	10,99		25,92
		Expansão (%)			-	0,00		0,00
	Módulo de Resiliência (Mpa)				-	-		-
	Permeabilidade (cm/s)				-	1,94E-03		2,49E-04
ENSAIOS *IN SITU*	Umidade natural (%)				-	5,48	CAMADA NÃO EXISTENTE	4,50
	Densidade úmida (g/cm³)				-	2,174		2,123
	Dens. seca máx (g/cm³)				-	2,061		2,032
	Grau de Compactação (%)				-	100,0%		99,4%
	DCP - mm/golpe				-	-		
	Mancha de Areia - Hs (mm)				0,74	-		
	Pêndulo Britânico - VRD				59,84	-		
	Medição de ATR (mm)				10,30	-		
	Permeabilidade *in situ* (cm/s)				-	-		
	Deflexão máxima - VB (0,01 mm)				-1833,33	-		

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se IP ≤ LL -30, será A-7-5; Se IP > LL - 30, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

a = p - 35	(se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35)	a varia de 0 a 40 e *0,2* . a varia de 0 a 8.
b = p - 15	(se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15)	b varia de 0 a 40 e *0,01* . $b \cdot d$ varia de 0 a 8.
c = LL - 40	(se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40)	c varia de 0 a 20 e *0,005* . $a \cdot c$ varia de 0 a 4.
d = IP - 10	(se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10)	d varia de 0 a 20 e *0,01* . b . d varia de 0 a 8.

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	8,293001	23,293
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	5	20
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

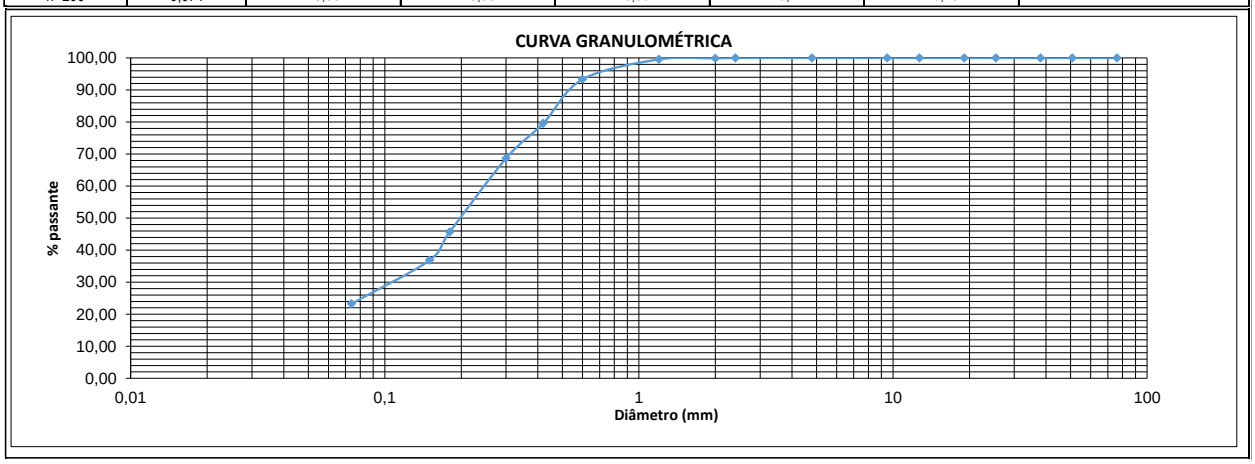
Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.005	

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
55	UA 03				Argila arenosa		Base	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	1.000,00	Cápsula nº	10	90	Pedregulho: acima 4,8 mm	0,00
Recipiente nº	Retido nº10	1,38	C + S + A (g)	97,31	101,94	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	0,14
1	Passando nº 10 úmida	998,62	C + S (g)	95,62	100,16	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	20,29
Retido nº 10	Peso da água	20,50	A = Água (g)	1,69	1,78	Areia Fina: entre nº 40 e 200	56,28
	Passando nº10 seca	978,118	C = Cápsula (g)	15,793	14,378	Passando nº 200	23,29
Recipiente nº:	Amostra Total Seca	979,498	S = Solo (g)	79,827	85,782	TOTAL	100,00
8	Amostra menor nº10 úmida	100,00	Umidade (%)	2,12	2,08	Retido: (nº 10 - nº 200)	76,57
	Amostra menor nº10 seca	97,95	Fator de Correção	0,9795			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0,00		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1/2 pol	12,70	0,00		0,00	0,00	100,00
3/8 pol	9,50	0,00		0,00	0,00	100,00
nº 4	4,80	0,00		0,00	0,00	100,00
nº 8	2,40	0,00		0,00	0,00	100,00
nº 10	2,00	1,38		0,14	0,14	99,86
nº 16	1,20	0,30	0,31	0,31	0,45	99,55
nº 30	0,60	6,10	6,23	6,22	6,67	93,33
nº 40	0,42	13,50	13,78	13,76	20,43	79,57
nº 50	0,30	10,70	10,92	10,91	31,34	68,66
nº 80	0,18	22,56	23,03	23,00	54,34	45,66
nº 100	0,15	8,64	8,82	8,81	63,15	36,85
nº 200	0,074	13,30	13,58	13,56	76,71	23,29



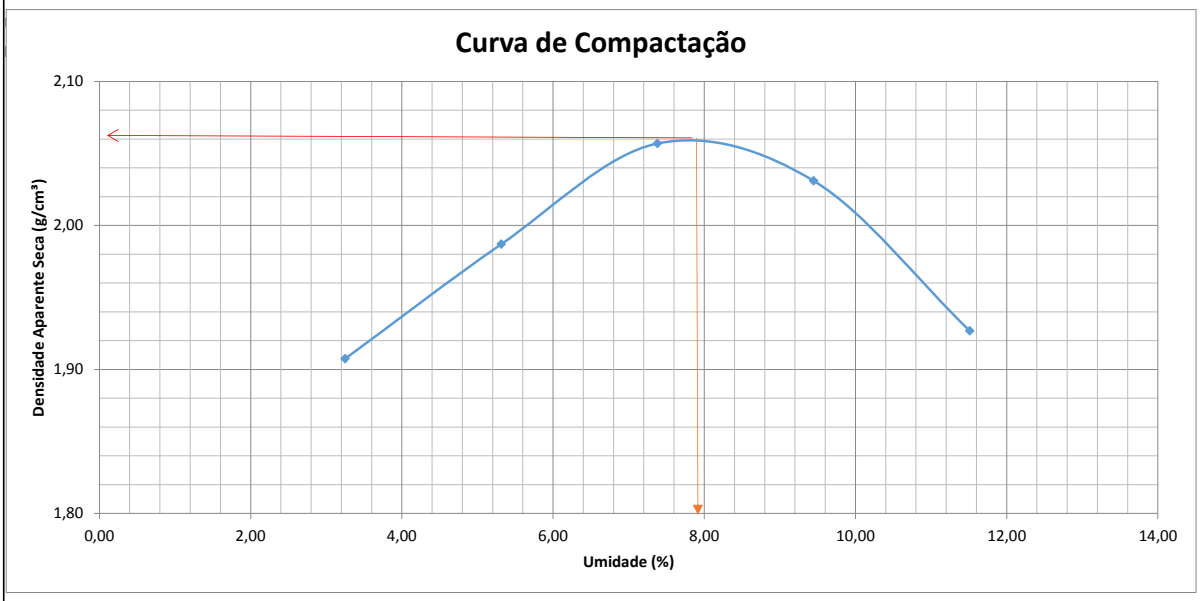
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.001

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
55		UA03	BASE	ARGILA ARENOSA	-	24/03/2016

% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
	NORNAL	12	**6.000,00**	5811,1	188,9	GILSON	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											1	4	
C + S + A (g)											451,61	417,72	
C + S (g)											438,96	406,04	
A - ÁGUA (g)											12,7	11,7	
C - CÁPSULA (g)											48,99	47,64	
S - SOLO (g)											390,0	358,4	
UMIDADE (%)											3,2	3,3	
UMIDADE MÉDIA											3,3		
UMID. ADOTADA (%)	3,25		5,32		7,38		9,45		11,51		FATOR DE CORREÇÃO		
UMIDADE CALCULADA (%)	3,25		5,32		7,38		9,45		11,51		0,9685		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,907		1,987		2,057		2,031		1,927		Moldes		
COMPACTAÇÃO											N°	Peso	Volume
CILINDRO Nº	8		7		3		10		15		10	5530	2056
ÁGUA ADICIONADA (ml)	0		120		240		360		480		3	5530	2058
ÁGUA ADICIONADA (%)	0		2		4		6		8		7	5530	2050
M + S + A (g)	9530		9820		10075		10100		9860		8	5495	2049
M - MOLDE (g)	5495		5530		5530		5530		5460		15	5460	2048
S + A (g)	4035		4290		4545		4570		4400		**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
VOL. CILINDRO (cm³)	2049		2050		2058		2056		2048		7,9		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	1,970		2,093		2,209		2,223		2,149		**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	1,970		2,052		2,124		2,097		1,989		2,06		



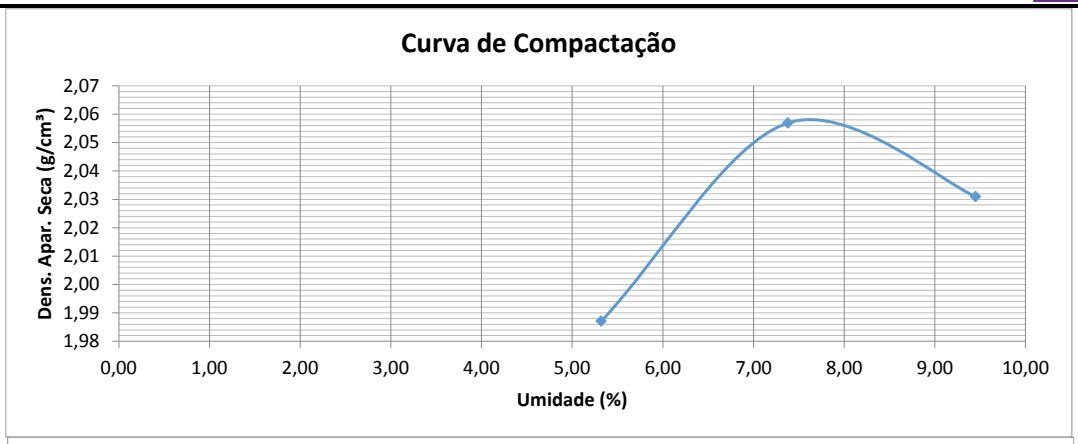
	FORMULÁRIO							**PAGINA N°**			**1/1**
								VERSÃO			**00**
	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94							**DATA**			
								DOCUMENTO Nº FO.RDT.004			
REGISTRO Nº	MATERIAL		CAMADA		PROCED.	ESTACA		ENERGIA		PROF.(M)	OPERADOR
55	**Argila Arenosa**		**Base**		**UA03**			**12**			**Guilherme**

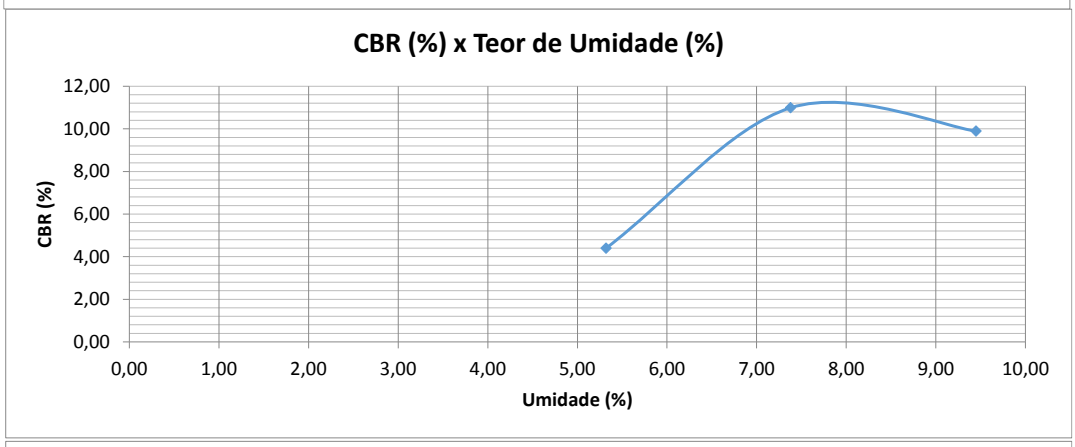
Cilindro nº		7		3		10						
Alturas dos CP´s		113,10		113,40		113,30						
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
24/03/16	15:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
25/03/16	15:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
26/03/16	15:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
27/03/16	15:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
28/03/16	15:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
Expansão		0		0		0					

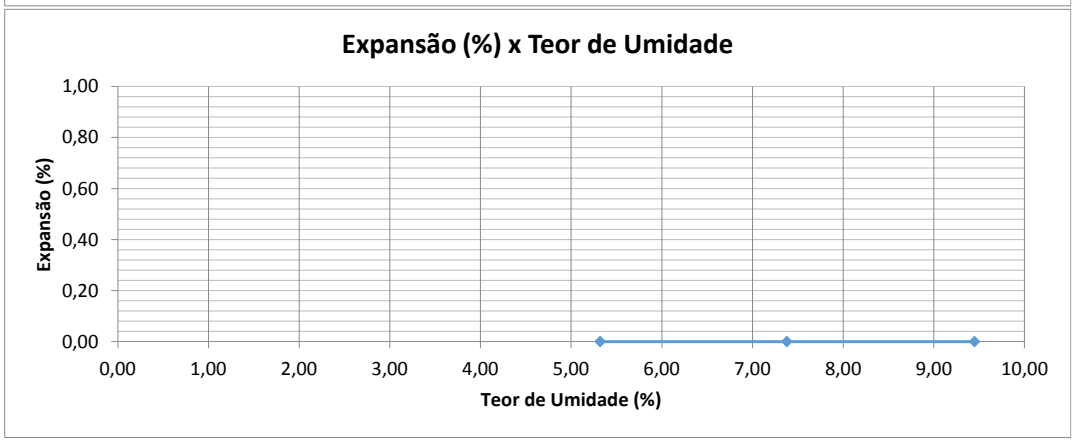
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

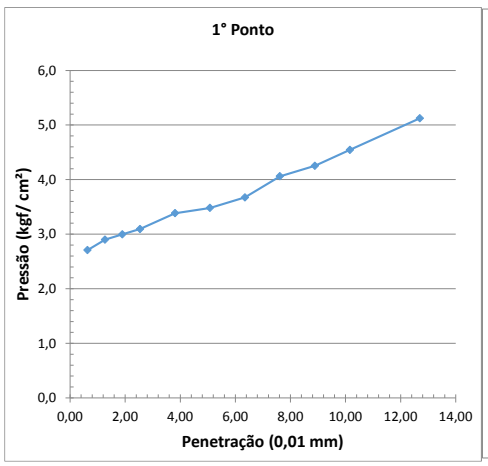
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel		0,0967		
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	28	2,7	32	3,1	33	3,2				
1	1,27	30	2,9	43	4,2	37	3,6				
1,5	1,90	31	3,0	62	6,0	47	4,5				
2	2,54	32	3,1	70	6,8	58	5,6				
3	3,81	35	3,4	92	8,9	81	7,8				
4	5,08	36	3,5	120	11,6	108	10,4				
5	6,35	38	3,7	147	14,2	131	12,7				
6	7,62	42	4,1	169	16,3	165	16,0				
7	8,89	44	4,3	205	19,8	188	18,2				
8	10,16	47	4,5	234	22,6	210	20,3				
10	12,70	53	5,1	300	29,0	268	25,9				

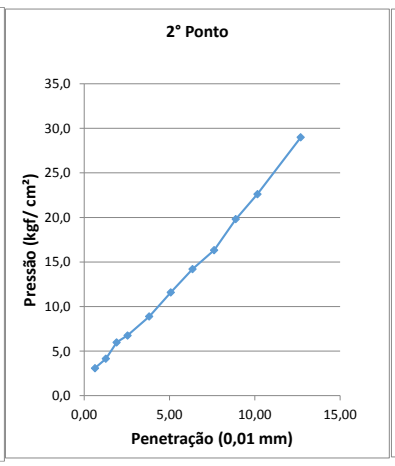
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA		Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		4,4		9,6		8,0					
I.S.C. 5,08 mm		3,3		11,0		9,9					
I.S.C.				11,0	4,4		11,0		9,9		

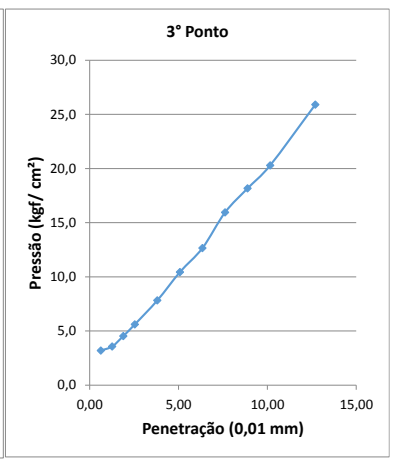

Curva de Compactação
Dens. Apar. Seca (g/cm³)
2,07
2,06
2,05
2,04
2,03
2,02
2,01
2,00
1,99
1,98
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Umidade (%)


CBR (%) x Teor de Umidade (%)
CBR (%)
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade
Expansão (%)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Teor de Umidade (%)

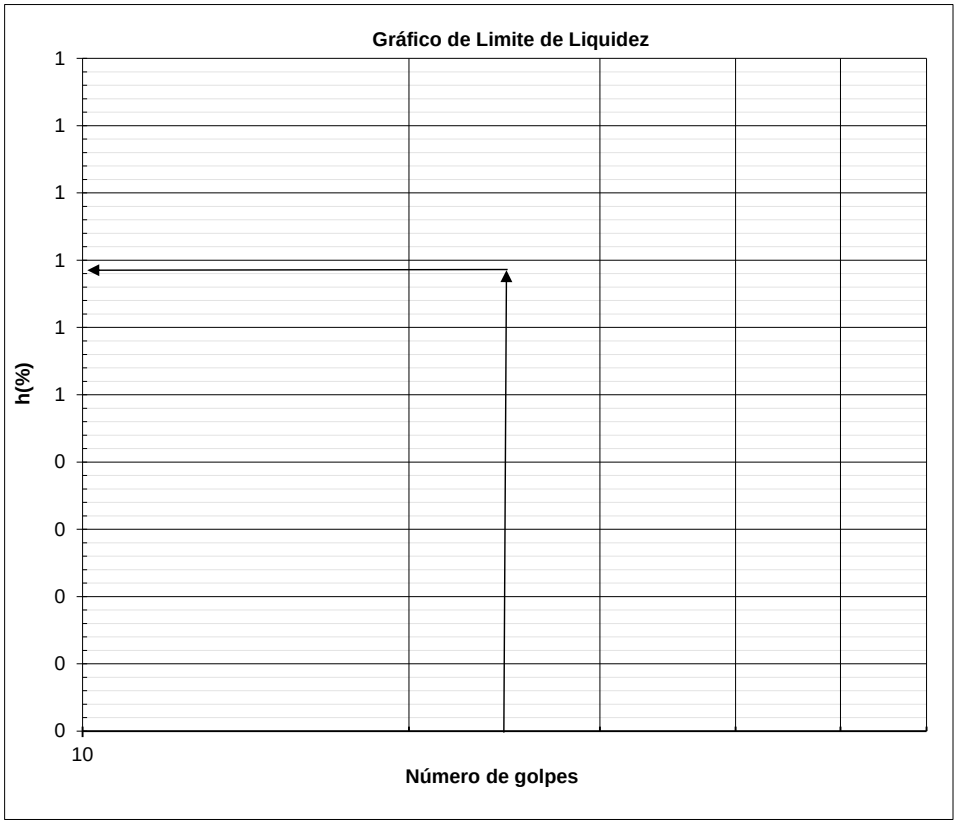

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
14,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
55	**152+250**				**UA03**		**GUILHERME**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)				NL				
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Nº de golpes								
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)				NP				
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)		
Limite de Plasticidade (LP)		
Índice de Plasticidade (IP)		

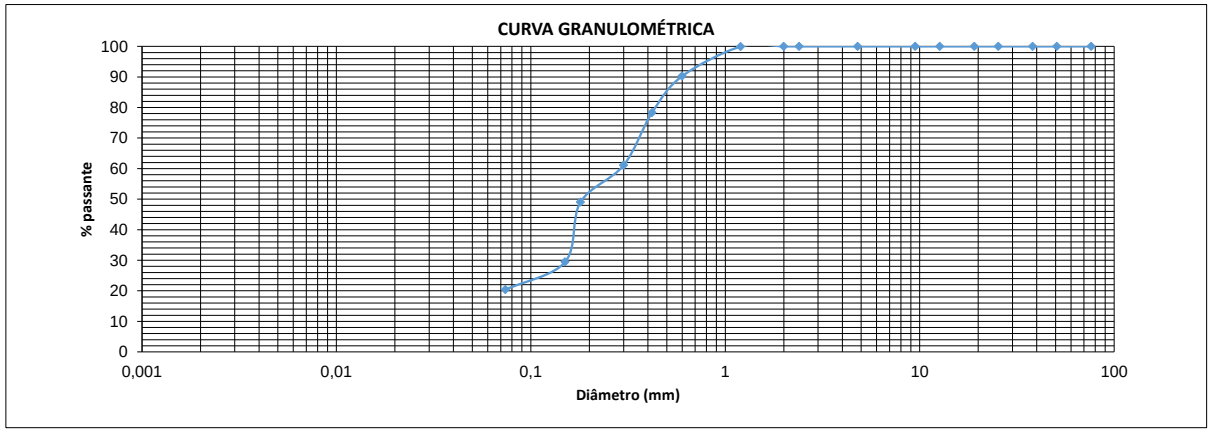


	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS		VERSÃO	00
	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.005	

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
58	UA 03		152+250		Silte rosa		Subleito	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	1.000,00	Cápsula nº	9	27	Pedregulho: acima 4,8 mm	0,00
Recipiente nº	Retido nº10	0,00	C + S + A (g)	100,75	95,7	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	0,00
3	Passando nº 10 úmida	1000,00	C + S (g)	100,54	95,46	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	21,69
Retido nº 10	Peso da água	2,79	A = Água (g)	0,21	0,24	Areia Fina: entre nº 40 e 200	57,94
	Passando nº10 seca	997,208	C = Cápsula (g)	18,634	16,395	Passando nº 200	20,37
Recipiente nº:	Amostra Total Seca	997,208	S = Solo (g)	81,906	79,065	TOTAL	100,00
8	Amostra menor nº10 úmida	100,00	Umidade (%)	0,26	0,30	Retido: (nº 10 - nº 200)	79,63
	Amostra menor nº10 seca	99,72	Fator de Correção	0,9972			

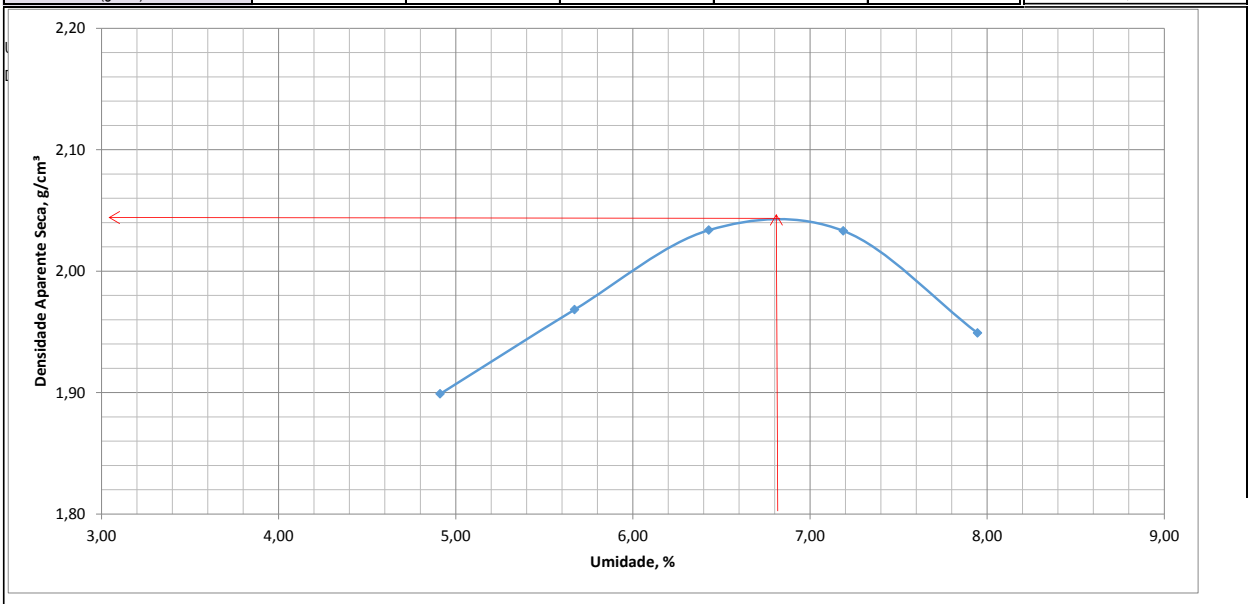
Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0,00		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1/2 pol	12,70	0,00		0,00	0,00	100,00
3/8 pol	9,50	0,00		0,00	0,00	100,00
nº 4	4,80	0,00		0,00	0,00	100,00
nº 8	2,40	0,00		0,00	0,00	100,00
nº 10	2,00	0,00		0,00	0,00	100,00
nº 16	1,20	0,05	0,05	0,05	0,05	99,95
nº 30	0,60	9,66	9,69	9,69	9,74	90,26
nº 40	0,42	11,92	11,95	11,95	21,69	78,31
nº 50	0,30	17,18	17,23	17,23	38,92	61,08
nº 80	0,18	12,00	12,03	12,03	50,95	49,05
nº 100	0,15	19,55	19,60	19,60	70,56	29,44
nº 200	0,074	9,05	9,08	9,08	79,63	20,37



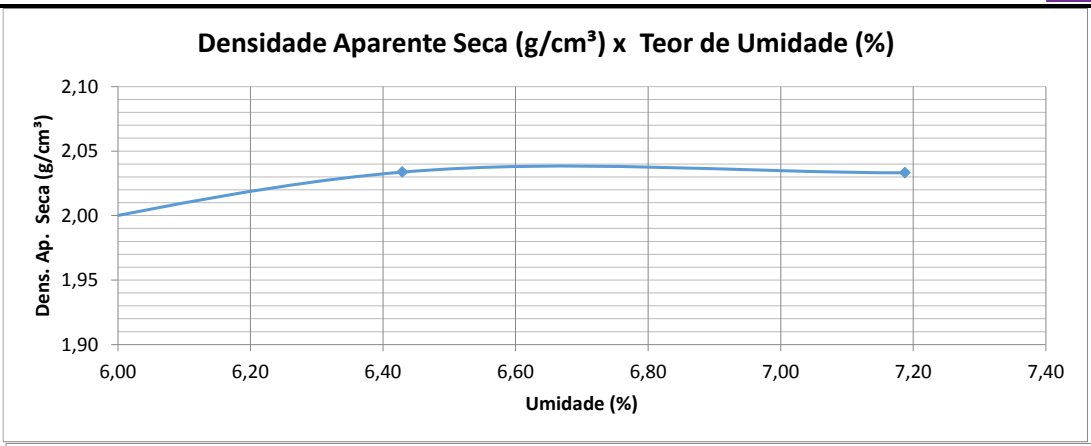
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	**FORMULÁRIO**	**PAGINA Nº**	1/1
		VERSÃO	00
	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA DNIT 124/94	**DATA**	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.001

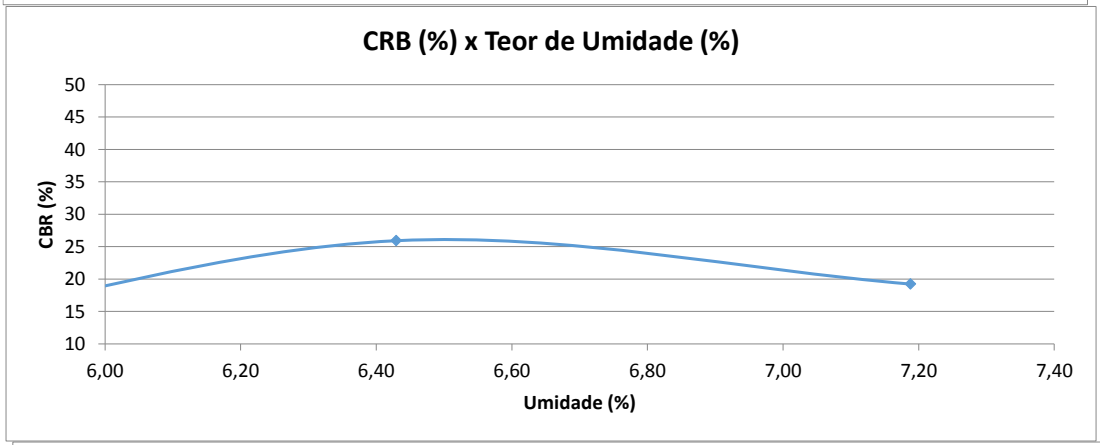
REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA	Folha
58	UA 03	152 + 250	Subleito	Silte rosa	-	29/02/2016	1
% RETIDO nº 4	**PROCTOR**	**ENERGIA**	**Solo Úmido (g)**	**Solo Seco (g)**	**Água**	**OPERADOR**	**FURO**
%	Normal	12	**8.000,00**	7911,4	88,6	Gilson	

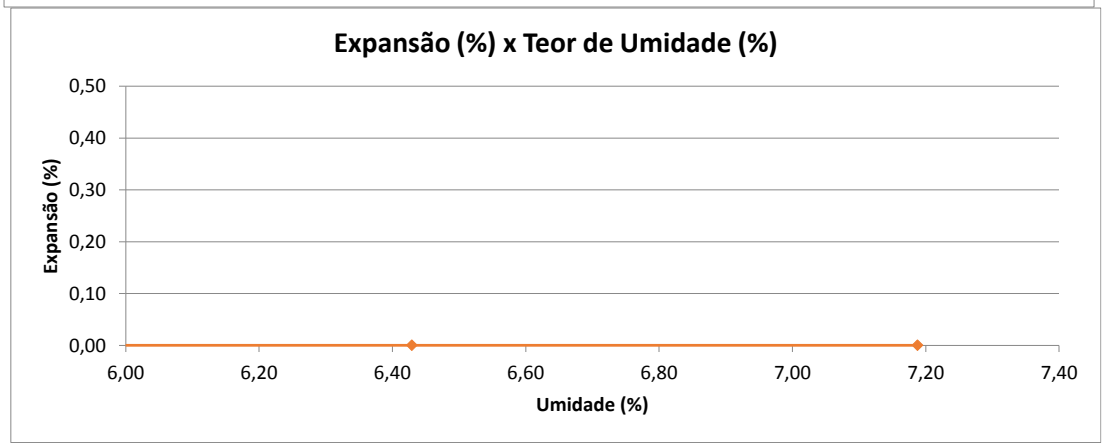
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						1,1		
	1	2	3	4	5	UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº						3	8	
C + S + A (g)						445,97	398,70	
C + S (g)						441,58	394,84	
A - ÁGUA (g)						4,4	3,9	
C - CÁPSULA (g)						49,33	50,72	
S - SOLO (g)						392,3	344,1	
UMIDADE (%)						1,1	1,1	
UMIDADE MÉDIA						FATOR DE CORREÇÃO		
UMID. ADOTADA (%)	4,91	5,67	6,43	7,19	7,95	0,9889		
UMIDADE CALCULADA (%)	4,91	5,67	6,43	7,19	7,95	Moldes		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,899	1,968	2,034	2,033	1,949	N°	Peso	Volume
COMPACTAÇÃO						15	5460	2048
CILINDRO Nº	15	20	8	3	9	20	5610	2053
ÁGUA ADICIONADA (ml)	300	360	420	480	540	8	5495	2049
ÁGUA ADICIONADA (%)	5	6	7	8	9	3	5530	2058
M + S + A (g)	9540	9880	9930	10015	9805	9	5490	2051
M - MOLDE (g)	5460	5610	5495	5530	5490	**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
S + A (g)	4080	4270	4435	4485	4315	6,8		
VOL. CILINDRO (cm³)	2048	2053	2049	2058	2051	**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	1,992	2,080	2,164	2,179	2,104	2,043		

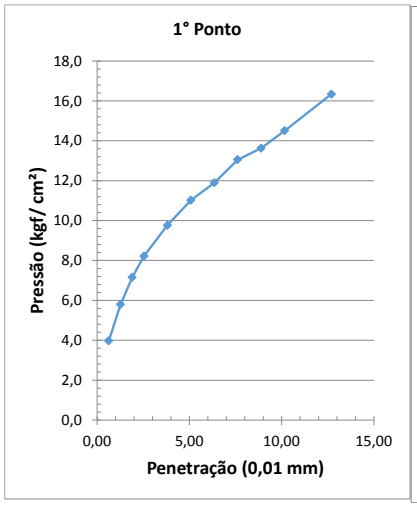


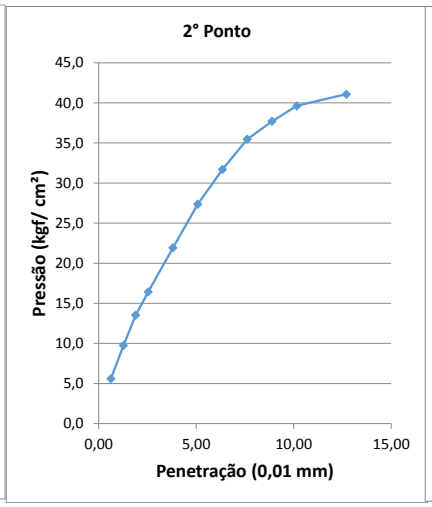
		FORMULÁRIO								**PAGINA N°**		**1/1**	
										VERSÃO		**00**	
		ENSAIO DE CBR								**DATA**			
		NORMA DNER-ME 049/94								**DOCUMENTO Nº** FO.RDT.004			
REGISTRO Nº		MATERIAL		CAMADA		PROCED.	ESTACA			ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR	
58		**Silte Rosa com ped.**		**Subleito**		**UA03**	**152+250**			**Normal**		**Guilherme**	
Cilindro nº		20		8		3							
Alturas dos CP´s		113,30		113,80		113,40							
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)			Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
08/03/16	13:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00						
09/03/19	13:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00						
09/03/22	13:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00						
09/03/25	13:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00						
10/03/25	13:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00						
Expansão Final (%)		0,00		0,00		0,00							
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS													
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel					0,0967	
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)			Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	41	4,0	58	5,6	38	3,7						
1	1,27	60	5,8	101	9,8	64	6,2						
1,5	1,90	74	7,2	140	13,5	87	8,4						
2	2,54	85	8,2	170	16,4	110	10,6						
3	3,81	101	9,8	227	21,9	160	15,5						
4	5,08	114	11,0	283	27,4	210	20,3						
5	6,35	123	11,9	328	31,7	250	24,2						
6	7,62	135	13,1	367	35,5	288	27,8						
7	8,89	141	13,6	390	37,7	326	31,5						
8	10,16	150	14,5	410	39,6	360	34,8						
10	12,70	169	16,3	425	41,1	402	38,9						
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA		Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)			Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm			11,7		23,4		15,1						
I.S.C. 5,08 mm			10,4		25,9		19,2						

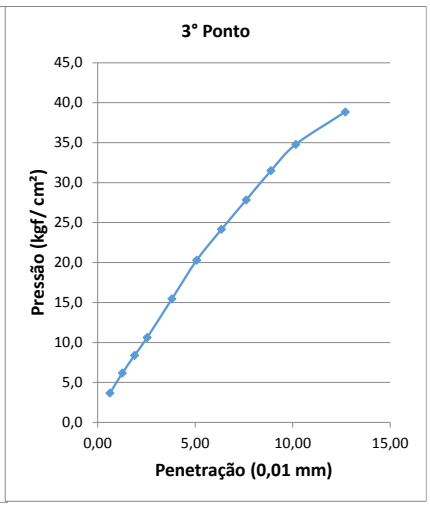

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,10
2,05
2,00
1,95
1,90
6,00
6,20
6,40
6,60
6,80
7,00
7,20
7,40
Umidade (%)


CRB (%) x Teor de Umidade (%)
CBR (%)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
6,00
6,20
6,40
6,60
6,80
7,00
7,20
7,40
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade (%)
Expansão (%)
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
6,00
6,20
6,40
6,60
6,80
7,00
7,20
7,40
Umidade (%)

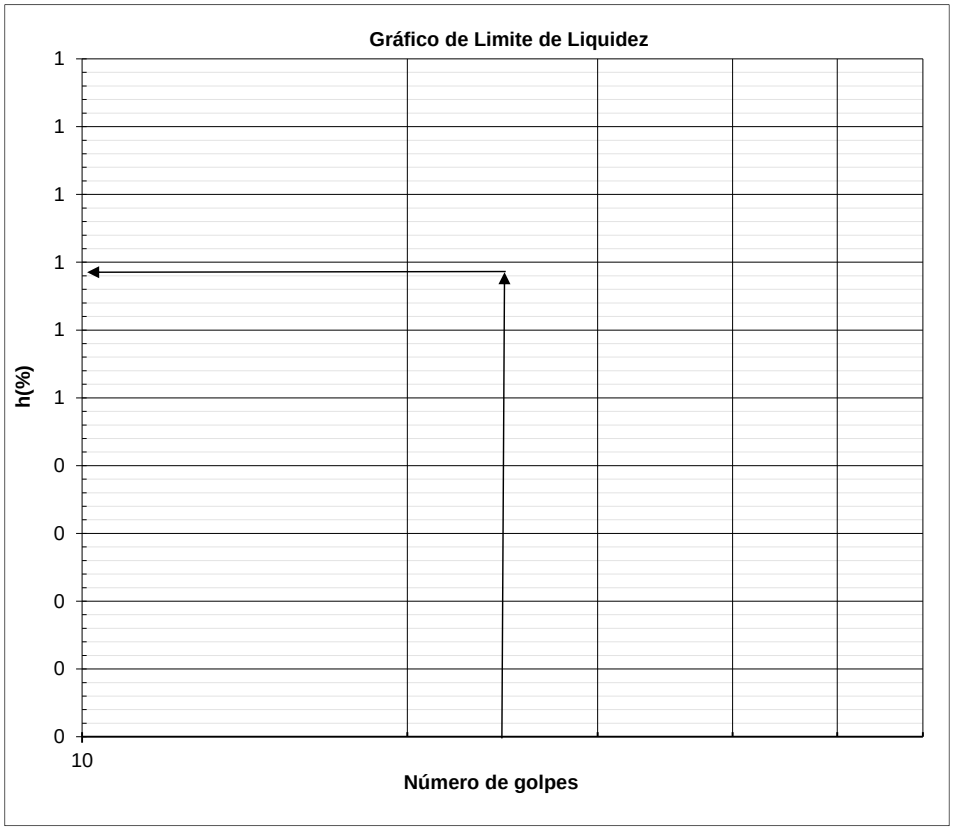

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
18,0
16,0
14,0
12,0
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
45,0
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
45,0
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
58	**152+250**				**UA03**		**GUILHERME**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)			NL					
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Nº de golpes								
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)			NP					
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)		
Limite de Plasticidade (LP)		
Índice de Plasticidade (IP)		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DENSIDADE "*in situ*"	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.XXX

NORMA DNER 092/94

DATA:	17/02/2016	KM INICIAL:	UA03	KM FINAL:	152
SENTIDO:	SUL	FAIXA:		OPERADOR:	GILSON

1. Peso Frasco Antes	7000			7000								
2. Peso Frasco Depois	5185			5080								
3. Peso Areia Deslocada	1815			1920								
4. Peso Areia no Cone*	488			488			488					
5. Peso Areia no Furo	1327			1432								
6. Densidade da areia (g/cm³) *	1,414			1,414			1,414					
7. Volume do Furo (cm³) - 5/6	938,472			1012,730								
* DADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO												
UMIDADES - h	CAMPO			LABORATÓRIO			CAMPO			LABORATÓRIO		
Cápsula N°.	39	90		38	9							
Cáp. + Solo + Água (g)	96,6	98,83		89,2	105,34							
Cápsula + Solo (g)	92,36	94,44		86,13	101,58							
Cápsula (g)	4,24	4,39		3,07	3,76							
Água (g)	15,08	14,38		17,39	18,63							
Solo Seco (g)	77,28	80,06		68,74	82,95							
Umidade %	5,5	5,5		4,5	4,5							
8. Umidade Média %	5,5			4,5								
Furo N°.												
9. Peso Total do Material do Furo (g)	2040			2150								
10. Densidade Úmida (g/cm³) - 9/7	2,174			2,123								
11. Dens. Apar. Solo Seco (g/cm³) - 10/8	2,061			2,032								
Profundidade do Furo (cm)	17			20								
Camada	Base			Subleito			sub-base					
Data:												
CONFRONTO DOS RESULTADOS												
Densidade Aparente Máxima	2,060			2,043								
Densidade do Campo	2,061			2,032								
Umidade Ótima	7,9			6,8								
Umidade de Campo	5,5			4,5								
Grau de Compactação	100,0			99,4								
Desvio de Umidade	-2,4			-2,3								

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO MANCHA DE AREIA	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA RT 03-25

PISTA:	BR 040											
KM	Bordo	Sentido	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Volume areia (mm³)	Diâmetro Médio Ds (mm)	Altura média Hs (mm)	OBS
UA03 -40m	BD	Sul	170	190	185	180	210		25000	187	0,91	
UA03 -20m	BE	Sul	220	200	220	200	215		25000	211	0,71	
UA03 +0m	BD	Sul	220	200	240	230	245		25000	227	0,62	
UA03 +20m	BE	Sul	200	210	210	215	215		25000	210	0,72	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.	

NORMA HD 15/87 e HD 36/87

PISTA:	BR 040								
KM	Bordo	Sentido	L1	L2	L3	L4	L5	Média	OBS.:
UA 3 -40 m	Direito	Sul	72	85	71	72	70	74,0	50°C
UA 3 -20 m	Esquerdo	Sul	75	73	75	61	63	69,4	50°C
UA 3	Direito	Sul	64	63	45	68	76	63,2	50°C
UA 3 +20 m	Esquerdo	Sul	62	35	45	35	56	46,6	50°C
UA 3 +40 m	Direito	Sul	31	45	44	45	65	46,0	50°C

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
	ENSAIO TRELIÇA	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA DNIT 006/2003-PRO

PISTA:

Data	KM	Bordo	Sentido	Leitura (mm)	OBS.:
17/02/2016	UA 03	Direito	Sul	12	
17/02/2016	UA 03	Esquerdo	Norte	12	
17/02/2016	UA 03 -20m	Esquerdo	Norte	11	
17/02/2016	UA 03 -20m	Direito	Norte	9	
17/02/2016	UA 03 -40m	Esquerdo	Norte	9	
17/02/2016	UA 03 -40m	Direito	Norte	10	
17/02/2016	UA 03 +20m	Direito	Sul	9	
17/02/2016	UA 03 +20m	Esquerdo	Sul	11	
17/02/2016	UA 03 +40m	Direito	Sul	10	
17/02/2016	UA 03 +40m	Esquerdo	Sul	10	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
	ENSAIO DE DEFLEXÃO NORMA DNIT 133/2010 - ME	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.013	

DATA:	17/fev	KM INICIAL	Km 153+150 / MG	SENTIDO:	SUL	K VIGA	2
FAIXA:	1	KM FINAL	Km 153+350 / MG	OPERADOR:		GILSON	

CÁLCULO DA BACIA DE DEFLEXÃO

UA03 -100m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	10,000	
		Deflexão (0,01mm)	10,0	8,0	8,0	6,0	6,0	6,0	4,0	0,0	0,0		
UA 03 - 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	23,000
		Leitura (mm)	0	0,01	0,02	0,07	0,19	0,2	0,2	0,2	0,18	36,000	
		Deflexão (0,01 mm)	36,0	34,0	32,0	22,0	-2,0	-4,0	-4,0	-4,0	0,0		
UA 03	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,11	0,13	26,000	
		Deflexão (0,01mm)	26,0	20,0	16,0	14,0	12,0	10,0	10,0	4,0	0,0		
UA 03	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	23,000
		Leitura (0,01 mm)	0	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,1	20,000	
		Deflexão (mm)	20,0	16,0	16,0	14,0	12,0	10,0	10,0	8,0	0,0		
UA 03 + 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	0,07	14,000	
		Deflexão (0,01mm)	14,0	12,0	10,0	8,0	6,0	6,0	4,0	0,0	0,0		
UA 03 + 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	9,000
		Leitura (mm)	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	4,000	
		Deflexão (0,01mm)	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0		

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
55	SILTE ARENOSO	BASE						

PERMEÂMETRO Nº.	1		
Constante do Ensaio	2,099	2,3.(a.L)/A	
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	
Volume do Corpo de Prova (cm³)	1005,309649	V = L.A	
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	2,078563557	gh = Ph/v	
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	1,927992675	gs = gh/(1+h)	
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1	
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})	

Corpo de Prova Nº.			5
Comprimento (cm)		L =	12,8
Área (cm²)		A =	78,54
Diâmetro (cm)		f =	10
Peso (g)		Ph =	2089,6
OBS.:			

TEOR DE UMIDADE	ANTES			DEPOIS		
Cápsula Nº.	10	12		32	61	
Solo Úmido + Tara (g)	97,4	102,7		114,08	129,66	
Solo Seco + Tara (g)	91,3	96,4		93,75	106,39	
Tara (g)	13,7	15,2				
Solo Seco (g)	77,6	81,2				
Água (g)	6,1	6,3				
Umidade - h	7,9%	7,8%				
Média	7,8%					

Molde	Nº.	5	
Diâmetro (cm)	Φ=	10	
Área (cm²)	A =	78,54	
Bureta	Nº.	1	
Diâmetro (cm)	Φ =	2,67	
Área (cm²)	a =	5,60	
K_T =	2,13E-03	K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)	
K_{20} =	1,94E-03	K_{20} = C_K.K_T	

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (°C)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
16:04	41,44	80	89	79	1,1265823	0,0517629	2,62E-03	24	0,908	2,38E-03
	71,34	70	79	69	1,1449275	0,058778	1,73E-03	24	0,908	1,57E-03
	74,24	60	69	59	1,1694915	0,0679971	1,92E-03	24	0,908	1,75E-03
	80,84	50	59	49	1,2040816	0,0806559	2,09E-03	24	0,908	1,90E-03
	90,69	40	49	39	1,2564103	0,0991315	2,29E-03	24	0,908	2,08E-03

Obs.:

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
58		Subleito	UA 03			-	-	Guilherme

PERMEÂMETRO Nº.	2		Corpo de Prova Nº.		5
Constante do Ensaio	2,08	2,3.(a.L)/A	Comprimento (cm)	L =	12,7
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	Área (cm²)	A =	78,54
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	Diâmetro (cm)	f =	10
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	Peso (g)	Ph =	2162
Volume do Corpo de Prova (cm³)	997,46	V = L.A	OBS.:		
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	2,168	gh = Ph/v			
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	2,030	gs = gh/(1+h)			
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1			
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})			

TEOR DE UMIDADE							Molde	Nº.	
	ANTES			DEPOIS			Diâmetro (cm)	Φ=	10
Cápsula Nº.	18	27					Área (cm²)	A =	78,54
Solo Úmido + Tara (g)	81,46	84,26					Bureta	Nº.	1
Solo Seco + Tara (g)	77,33	79,94					Diâmetro (cm)	Φ =	2,67
Tara (g)	16,61	16,4					Área (cm²)	a =	5,60
Solo Seco (g)	60,72	63,54					K_T =	2,81E-04	K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)
Água (g)	4,13	4,32							
Umidade - h	6,8%	6,8%					K_{20} =	2,49E-04	K_{20} = C_K.K_T
Média	6,8%								

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (ºC)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
15:45	157,23	80 - 70	193	183	1,0546448	0,0231062	3,06E-04	25	0,887	2,71E-04
	177,18	70 - 60	183	173	1,0578035	0,024405	2,87E-04	25	0,887	2,54E-04
	193,05	60 - 50	173	163	1,0613497	0,0258585	2,79E-04	25	0,887	2,47E-04
	214,39	50 - 40	163	153	1,0653595	0,0274962	2,67E-04	25	0,887	2,37E-04
	230,66	40 - 30	153	143	1,0699301	0,0293554	2,65E-04	25	0,887	2,35E-04

Obs.:

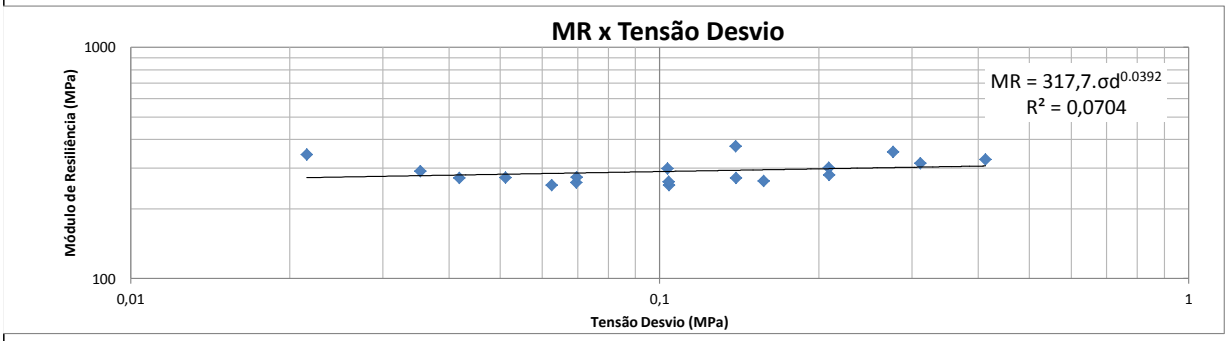
	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

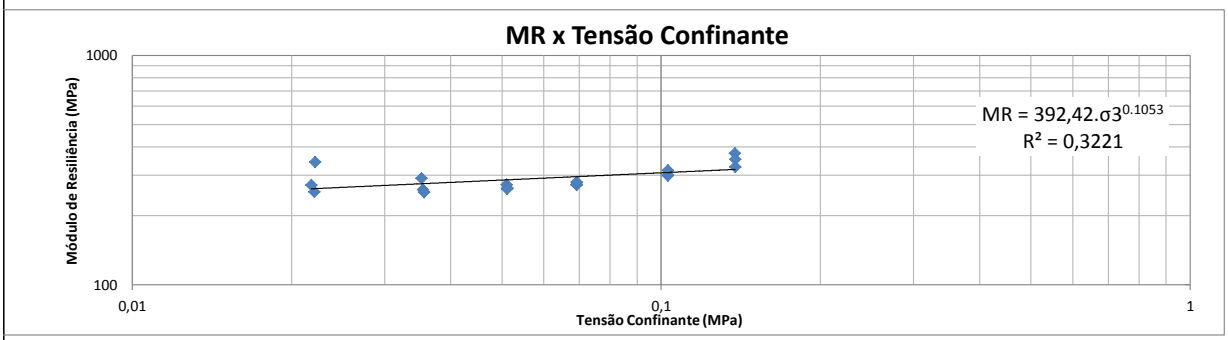
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
58			153+250 (UA03)	Subleito	Argila siltosa		02/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	100	100	100	100	100	100	99,95	90,26	78,31	61,08	29,44	20,37
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-2-4	R$ 6,80		R$ 2,00		R$ 25,92		R$ 0,00			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02215	0,02152	7,02%	3,96%	6,27E-05	343,616
0,0689	0,2068		0,0414	0,02182	0,04180	5,40%	0,97%	1,53E-04	272,558
0,1029	0,3090		0,0621	0,02208	0,06256	6,67%	0,75%	2,46E-04	254,046
		0,0345	0,0345	0,03524	0,03530	2,15%	2,32%	1,21E-04	291,771
			0,0689	0,03546	0,06962	2,80%	1,05%	2,68E-04	259,988
			0,1029	0,03561	0,10422	3,22%	1,28%	4,11E-04	253,462
		0,0504	0,0504	0,05104	0,05116	1,27%	1,51%	1,87E-04	273,093
			0,1029	0,05111	0,10406	1,41%	1,12%	3,97E-04	262,233
			0,1552	0,05117	0,15731	1,52%	1,36%	5,95E-04	264,547
		0,068	0,0689	0,06922	0,06965	1,79%	1,08%	2,54E-04	274,176
			0,1379	0,06922	0,13941	1,79%	1,10%	5,12E-04	272,070
			0,2068	0,06924	0,20907	1,82%	1,10%	7,46E-04	280,437
		0,1029	0,1029	0,10288	0,10357	0,02%	0,65%	3,47E-04	298,893
			0,2068	0,10291	0,20889	0,01%	1,01%	6,93E-04	301,294
			0,309	0,10290	0,31086	0,00%	0,60%	9,86E-04	315,354
		0,1379	0,1379	0,13787	0,13929	0,02%	1,01%	3,72E-04	374,428
			0,2747	0,13790	0,27626	0,00%	0,57%	7,83E-04	352,820
			0,412	0,13790	0,41314	0,00%	0,28%	1,26E-03	327,136





Observação:

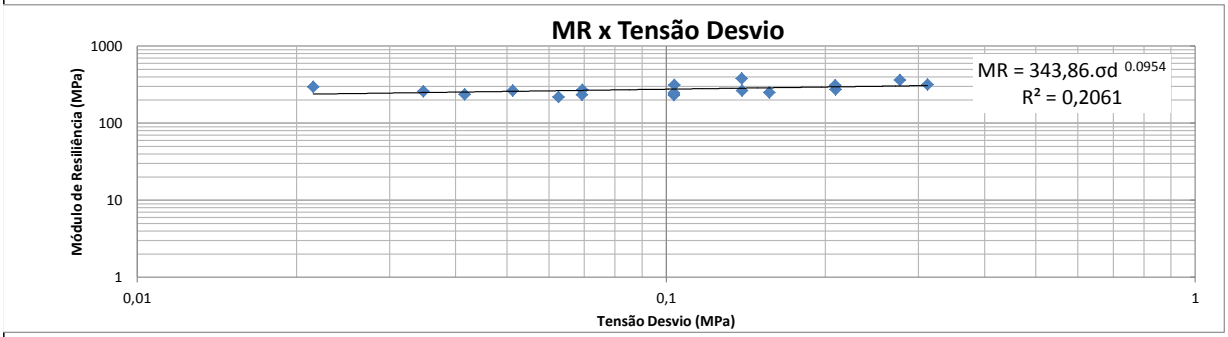
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

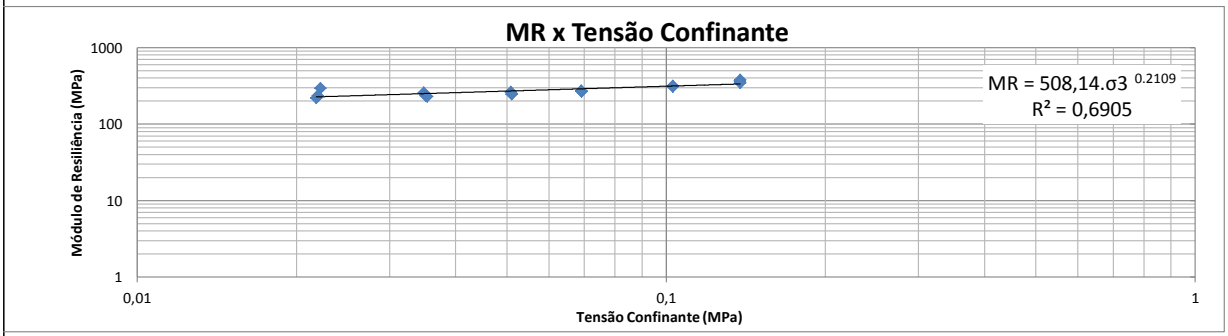
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
55			153+250 (UA03)	Base	Cascalho arenoso		01/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

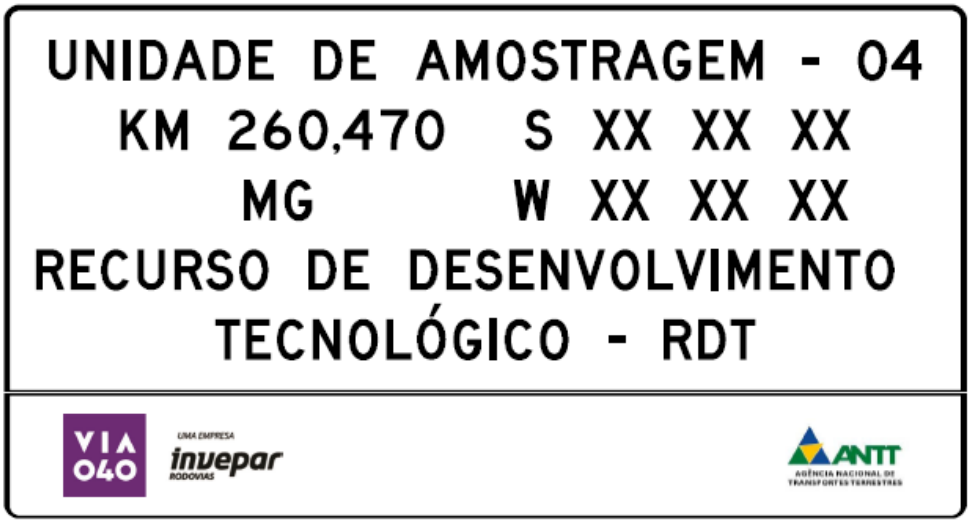
Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LL (%)	NP	100,00	100,00	100,00	100,00	100	99,86	99,55	93,33	79,57	68,66	36,85	23,29
IP	0,0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-2-4	7,90		2,06		10,99		0,00			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio (Média das 15 repetições por sequência)					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02218	0,02152	7,16%	3,97%	7,27E-05	296,069
0,0689	0,2068		0,0414	0,02195	0,04156	6,05%	0,38%	1,76E-04	235,900
0,1029	0,3090		0,0621	0,02181	0,06256	5,38%	0,75%	2,84E-04	219,947
		0,0345	0,0345	0,03483	0,03472	0,95%	0,64%	1,34E-04	258,952
			0,0689	0,03511	0,06931	1,77%	0,60%	2,95E-04	235,054
			0,1029	0,03533	0,10337	2,41%	0,46%	4,48E-04	230,648
		0,0504	0,0504	0,05082	0,05129	0,82%	1,76%	1,94E-04	263,839
			0,1029	0,05097	0,10349	1,13%	0,57%	4,18E-04	247,372
			0,1552	0,05109	0,15666	1,36%	0,94%	6,26E-04	250,313
		0,068	0,0689	0,06906	0,06944	1,56%	0,78%	2,55E-04	272,786
			0,1379	0,06920	0,13910	1,77%	0,87%	5,22E-04	266,269
			0,2068	0,06911	0,20892	1,63%	1,02%	7,64E-04	273,454
		0,1029	0,1029	0,10287	0,10356	0,03%	0,64%	3,30E-04	313,775
			0,2068	0,10292	0,20872	0,02%	0,93%	6,74E-04	309,901
			0,309	0,10293	0,31174	0,03%	0,89%	9,85E-04	316,584
		0,1379	0,1379	0,13794	0,13881	0,03%	0,66%	3,65E-04	380,119
			0,2747	0,13786	0,27660	0,03%	0,69%	7,58E-04	365,099
			0,412	0,13790	0,41366	0,00%	0,40%	1,19E-03	347,229





Observação:


UNIDADE DE AMOSTRAGEM - 04
KM 260,470 S XX XX XX
MG W XX XX XX
RECURSO DE DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO - RDT
VIA 040
UMA EMPRESA
invepar
RODOVIAS
ANTT
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS - VIA 040								
CAMPANHA DE CAMPO 01 - JANEIRO/FEVEREIRO - 2016								
QUADRO RESUMO								
UA 04		Km 260+470/MG			Camada			
					CA	Base	Sub-Base	Subleito
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Caracterização	Granulometria	% passando	3 "	-	100,00	CAMADA NÃO COLETADA	100,00
				2 "	-	100,00		100,00
				1 1/2 "	-	100,00		100,00
				1 "	-	93,21		100,00
				3/4 "	-	85,83		94,52
				1/2 "	-	80,79		90,97
				3/8 "	-	72,33		86,38
				nº 4	-	59,96		70,86
				nº 8	-	53,61		63,74
				nº 10	-	52,87		63,00
				nº 16	-	51,43		61,82
				nº 30	-	49,53		59,94
				nº 40	-	47,00		56,00
				nº 50	-	43,06		49,25
				nº 80	-	37,98		45,38
				nº 100	-	34,60		32,68
				nº 200	-	26,34		20,78
		Espesura da camada (cm)			10,00	17,00		19,00
		Material			CBUQ	Cascalho arenoso		Argila Arenosa
		L.L.			-	NL		NL
		L.P.			-	NP		NP
		I.P.			-	0		0
		I.G.			-	0		0
		Classificação H.R.B.			-	A-2-4		A-2-4
	Compactação	Dens. seca máx (g/cm³)			-	2,096		2,090
		Umidade ótima (%)			-	8,40		9,42
		CBR (%)			-	85,00		37,50
		Expansão (%)			-	0,08		0,02
	Módulo de Resiliência (Mpa)				-			
	Permeabilidade (cm/s)				-			7,37E-04
ENSAIOS *IN SITU*	Umidade natural (%)				-	10,70	CAMADA NÃO COLETADA	8,94
	Densidade úmida (g/cm³)				-	2,312		2,193
	Dens. seca máx (g/cm³)				-	2,089		2,013
	Grau de Compactação (%)				-	99,7%		96,3%
	DCP - mm/golpe				-	-		-
	Mancha de Areia - Hs (mm)				0,53	-		-
	Pêndulo Britânico - VRD				66,08	-		-
	Medição de ATR (mm)				11,70	-		-
	Permeabilidade *in situ* (cm/s)				-	-		-
	Deflexão máxima - VB (0,01 mm)				-2900,00	-		-

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se IP ≤ LL -30, será A-7-5; Se IP > LL - 30, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

a = p - 35	(se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35)	a varia de 0 a 40 e *0,2* . a varia de 0 a 8.
b = p - 15	(se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15)	b varia de 0 a 40 e *0,01* . $b \cdot d$ varia de 0 a 8.
c = LL - 40	(se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40)	c varia de 0 a 20 e *0,005* . $a \cdot c$ varia de 0 a 4.
d = IP - 10	(se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10)	d varia de 0 a 20 e *0,01* . b . d varia de 0 a 8.

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	11,33548	26,33548
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	6	21
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

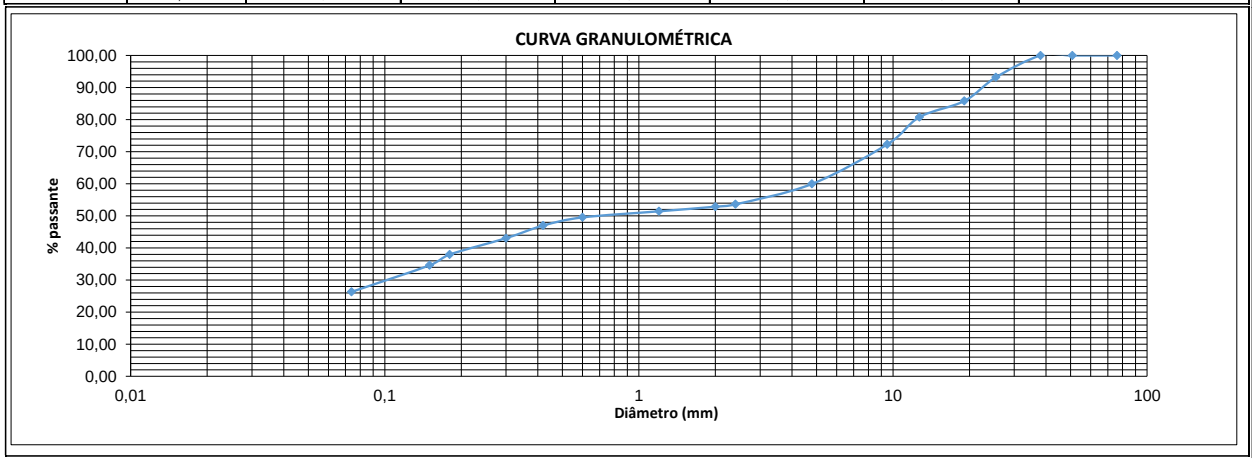
Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS		VERSÃO	00
	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
57		MG		**UA04**	Casc. Arenoso		Base	Gilson

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	49	90	Pedregulho: acima 4,8 mm	40,04
Recipiente nº 3	Retido nº10	935,70	C + S + A (g)	81,11	80,07	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	7,08
	Passando nº 10 úmida	1064,30	C + S (g)	80,29	79,15	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	5,87
Retido nº 10	Peso da água	14,46	A = Água (g)	0,82	0,92	Areia Fina: entre nº 40 e 200	20,66
	Passando nº10 seca	1049,84	C = Cápsula (g)	18,879	14,378	Passando nº 200	26,34
Recipiente nº: 4	Amostra Total Seca	1985,54	S = Solo (g)	61,411	64,772	TOTAL	100,00
	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	1,34	1,42	Retido: (nº 10 - nº 200)	26,54
	Amostra menor nº10 seca	197,28	Fator de Correção	0,9864			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	134,88		6,79	6,79	93,21
3/4 pol	19,10	146,52		7,38	14,17	85,83
1/2 pol	12,70	100,10		5,04	19,21	80,79
3/8 pol	9,50	167,98		8,46	27,67	72,33
nº 4	4,80	245,55		12,37	40,04	59,96
nº 8	2,40	126,00		6,35	46,39	53,61
nº 10	2,00	14,67		0,74	47,13	52,87
nº 16	1,20	5,38	2,73	1,44	48,57	51,43
nº 30	0,60	7,10	3,60	1,90	50,47	49,53
nº 40	0,42	9,44	4,79	2,53	53,00	47,00
nº 50	0,30	14,69	7,45	3,94	56,94	43,06
nº 80	0,18	18,98	9,62	5,09	62,02	37,98
nº 100	0,15	12,59	6,38	3,37	65,40	34,60
nº 200	0,074	30,84	15,63	8,27	73,66	26,34



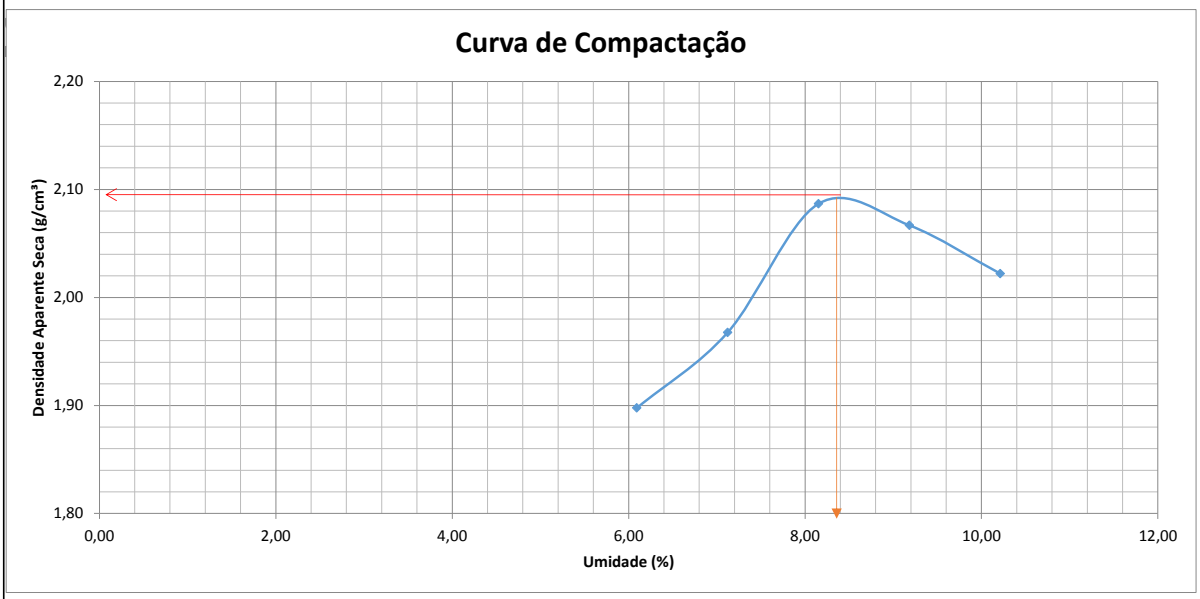
	FORMULÁRIO					PAGINA Nº	1/1
VIA 040 UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO					VERSÃO	00
						DATA	27/11/2015
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.001	

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
57		UA04	Base	Cascalho arenoso vermelho	-	17/03/2016

% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
34,60%	Modificado	55	**8.000,00**	7766,8	233,2	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											5	6	
C + S + A (g)											432,95	483,58	
C + S (g)											421,49	471,18	
A - ÁGUA (g)											11,5	12,4	
C - CÁPSULA (g)											46,89	50,19	
S - SOLO (g)											374,6	421,0	
UMIDADE (%)											3,1	2,9	
UMIDADE MÉDIA											3,0		
UMID. ADOTADA (%)	6,09		7,12		8,15		9,18		10,21		FATOR DE CORREÇÃO		
UMIDADE CALCULADA (%)	6,09		7,12		8,15		9,18		10,21		0,9709		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,898		1,968		2,087		2,067		2,022		Moldes		
COMPACTAÇÃO											N°	Peso	Volume
CILINDRO Nº	9		7		10		1		13		7	5530	2050
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240		320		400		480		560		10	5530	2056
ÁGUA ADICIONADA (%)	3		4		5		6		7		1	5560	2089
M + S + A (g)	9620		9850		10170		10275		10170		13	5495	2098
M - MOLDE (g)	5490		5530		5530		5560		5495		9	5490	2051
S + A (g)	4130		4320		4640		4715		4675		**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
VOL. CILINDRO (cm³)	2051		2050		2056		2089		2098		8,4		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,013		2,108		2,257		2,257		2,229		**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	1,955		2,027		2,149		2,129		2,083		2,096		



VIA 040 / UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	**FORMULÁRIO**	**PAGINA N°**	**1/1**
		VERSÃO	**00**
	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94	**DATA**	
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.004	

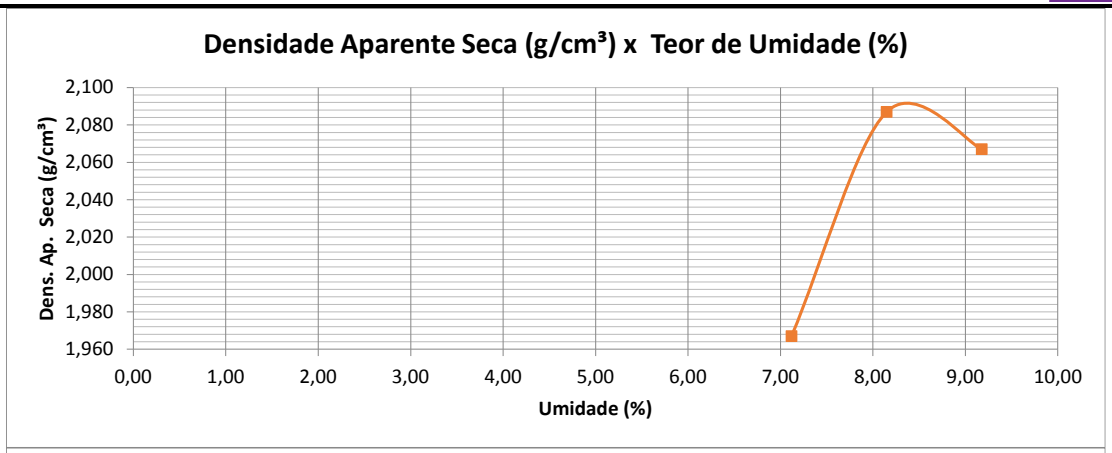
REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
57	**Cascalho Arenoso**	**Base**	**UA04**		**55**		**Bruno**

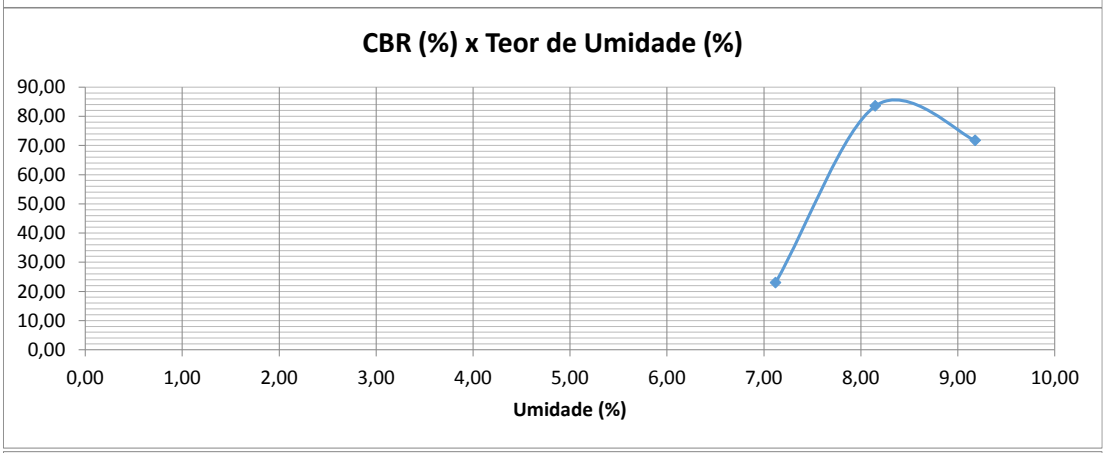
Cilindro nº		7		10		1						
Alturas dos CP´s		113,10		113,30		115,30						
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
17/03/16	11:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
18/03/16	11:40	2,17	0,00	2,07	0,00	2,03	0,00				
19/03/16	11:40	2,18	0,00	2,08	0,00	2,03	0,00				
20/03/16	11:40	2,19	0,00	2,09	0,00	2,03	0,00				
21/03/16	11:40	2,21	0,00	2,10	0,00	2,03	0,00				
Expansão Final (%)		0,19		0,09		0,03					

PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

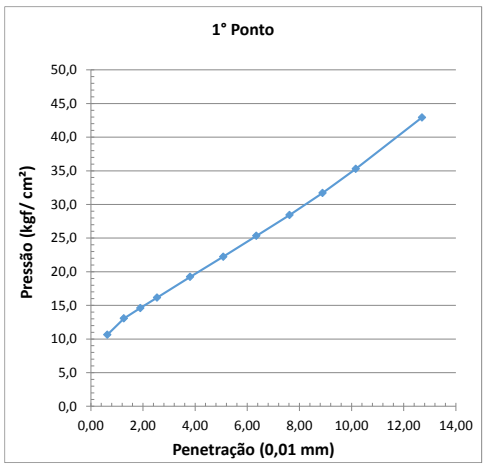
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel		0,0967		
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	110	10,6	250	24,2	146	14,1				
1	1,27	135	13,1	398	38,5	257	24,8				
1,5	1,90	151	14,6	518	50,1	360	34,8				
2	2,54	167	16,1	608	58,8	466	45,0				
3	3,81	199	19,2	734	71,0	640	61,9				
4	5,08	230	22,2	840	81,2	783	75,7				
5	6,35	262	25,3	928	89,7	920	88,9				
6	7,62	294	28,4	1010	97,6	1036	100,2				
7	8,89	328	31,7	1093	105,7	1152	111,4				
8	10,16	365	35,3	1168	112,9	1248	120,6				
10	12,70	444	42,9	1315	127,1	1448	140,0				

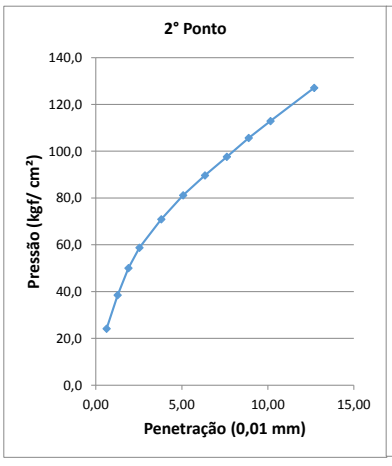
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		22,9		83,5		64,0				
I.S.C. 5,08 mm		21,1		76,9		71,7				

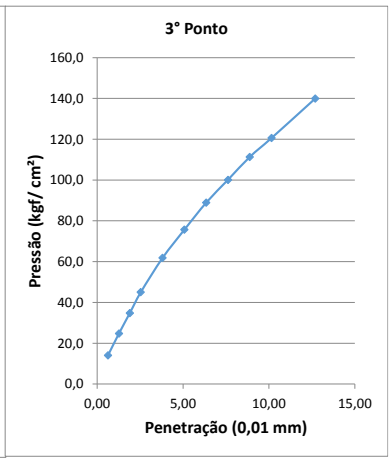

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,100
2,080
2,060
2,040
2,020
2,000
1,980
1,960
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Umidade (%)


CBR (%) x Teor de Umidade (%)
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade
Expansão (%)
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Teor de Umidade (%)

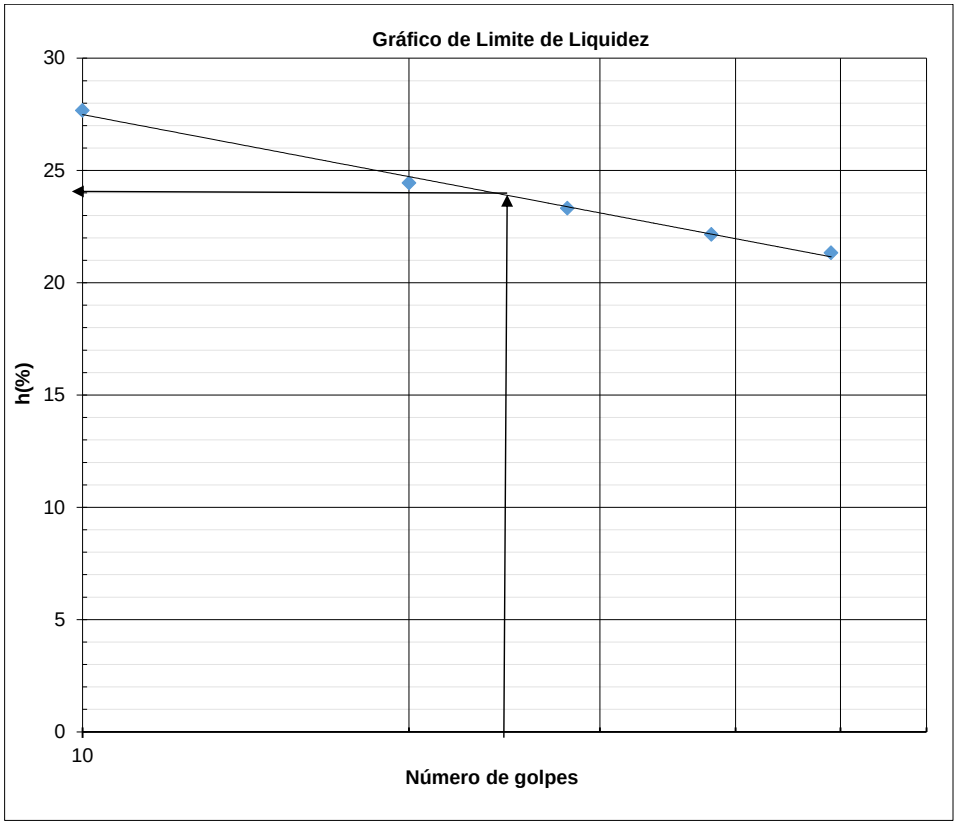

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
50,0
45,0
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
14,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
160,0
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
57	**260**		**UA04**				**Guilherme**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº	98	102	54	101	91			
Cápsula+Solo Úmido (g)	20,39	20,6	21,28	22,25	21,2			
Cápsula+Solo Seco (g)	17,92	18,36	18,68	19,31	18,14			
Peso da Água (g)	2,47	2,24	2,6	2,94	3,06			
Peso da Cápsula (g)	6,34	8,25	7,53	7,29	7,08			
Peso do Solo Seco (g)	11,58	10,11	11,15	12,03	11,06			
Teor de Umidade (%)	21,33	22,16	23,32	24,45	27,67			
Nº de golpes	49	38	28	20	10			
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº	112	83	72	7	37			
Cápsula+Solo Úmido (g)	8,26	8,66	9,03	9,51	9,45			
Cápsula+Solo Seco (g)	8,13	8,51	8,86	9,37	9,25			
Peso da Água (g)	0,13	0,15	0,17	0,14	0,2			
Peso da Cápsula (g)	7,27	7,57	7,70	8,38	7,87			
Peso do Solo Seco (g)	0,86	0,944	1,159	0,991	1,383			
Teor de Umidade (%)	15,17	15,89	14,67	14,13	14,46			
Umidade Média	14,86		Limite Superior		15,61	Limite Inferior		14,12
Verificação dos Limites	15,17		14,67	14,13	14,46			

Umidade Natural (h)	10,7	Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)	24	
Limite de Plasticidade (LP)	14,61	
Índice de Plasticidade (IP)	9,39363	1,42

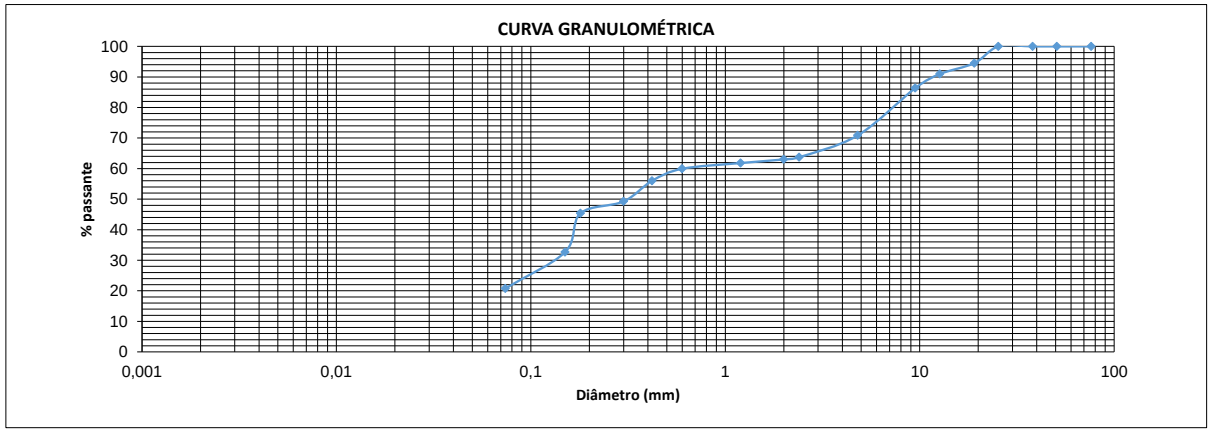


	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS		VERSÃO	00
	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.005	

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
56	UA04		260		Argila Arenosa c/ Pedr.		Subleito	Guilherme

Amostra menor nº 10		AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
		Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	55	58	Pedregulho: acima 4,8 mm	29,14
Recipiente nº	8	Retido nº10	729,50	C + S + A (g)	93,27	97,73	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	7,86
		Passando nº 10 úmida	1270,50	C + S (g)	91,53	95,92	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	7,00
Retido nº 10		Peso da água	28,50	A = Água (g)	1,74	1,81	Areia Fina: entre nº 40 e 200	35,22
		Passando nº10 seca	1242	C = Cápsula (g)	16,288	16,444	Passando nº 200	20,78
Recipiente nº:	6	Amostra Total Seca	1971,5	S = Solo (g)	75,242	79,476	TOTAL	100,00
		Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	2,31	2,28	Retido: (nº 10 - nº 200)	42,22
		Amostra menor nº10 seca	195,51	Fator de Correção	0,9776			

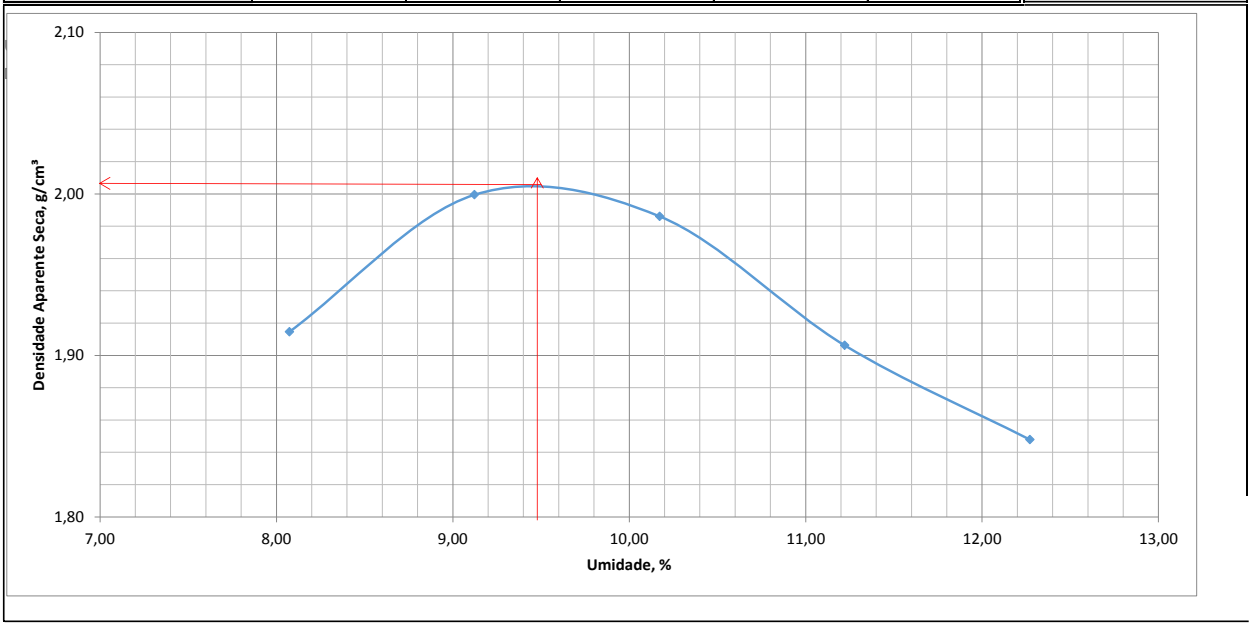
Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0,00		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	108,09		5,48	5,48	94,5
1/2 pol	12,70	70,03		3,55	9,03	91,0
3/8 pol	9,50	90,36		4,58	13,62	86,4
nº 4	4,80	305,98		15,52	29,14	70,9
nº 8	2,40	140,43		7,12	36,26	63,7
nº 10	2,00	14,61		0,74	37,00	63,0
nº 16	1,20	3,65	1,87	1,18	38,18	61,8
nº 30	0,60	5,84	2,99	1,88	40,06	59,9
nº 40	0,42	12,23	6,26	3,94	44,00	56,0
nº 50	0,30	20,95	10,72	6,75	50,75	49,2
nº 80	0,18	12,00	6,14	3,87	54,62	45,4
nº 100	0,15	39,41	20,16	12,70	67,32	32,7
nº 200	0,074	36,94	18,89	11,90	79,22	20,8



	FORMULÁRIO					PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA DNIT 124/94					VERSÃO	00
						DATA	27/11/2015
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.001	

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA	Folha
56	UA 04	260	Subleito	Arg. Arenosa c/ pedr.	-	29/02/2016	1
% RETIDO nº 4	**PROCTOR**	**ENERGIA**	**Solo Úmido (g)**	**Solo Seco (g)**	**Água**	**OPERADOR**	**FURO**
29,20%	Normal	12	**8.000,00**	7624,4	375,6	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						4,9		
	1	2	3	4	5	UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº						2	3	
C + S + A (g)						493,35	587,34	
C + S (g)						473,66	563,57	
A - ÁGUA (g)						19,7	23,8	
C - CÁPSULA (g)						77,88	76,20	
S - SOLO (g)						395,8	487,4	
UMIDADE (%)						5,0	4,9	
UMIDADE MÉDIA						FATOR DE CORREÇÃO		
UMID. ADOTADA (%)	8,07	9,12	10,17	11,22	12,27	0,9531		
UMIDADE CALCULADA (%)	8,07	9,12	10,17	11,22	12,27	Moldes		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,915	1,999	1,986	1,906	1,848	N°	Peso	Volume
COMPACTAÇÃO						11	5535	2066
CILINDRO Nº	11	12	2	6	9	12	5450	2051
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240	320	400	480	560	2	5465	2084
ÁGUA ADICIONADA (%)	3	4	5	6	7	6	5515	2057
M + S + A (g)	9810	9925	10025	9876	9745	9	5490	2051
M - MOLDE (g)	5535	5450	5465	5515	5490	**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
S + A (g)	4275	4475	4560	4361	4255	9,42		
VOL. CILINDRO (cm³)	2066	2051	2084	2057	2051	**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,069	2,182	2,188	2,120	2,075	2,090		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94	VERSÃO	00
		DATA	
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.004	

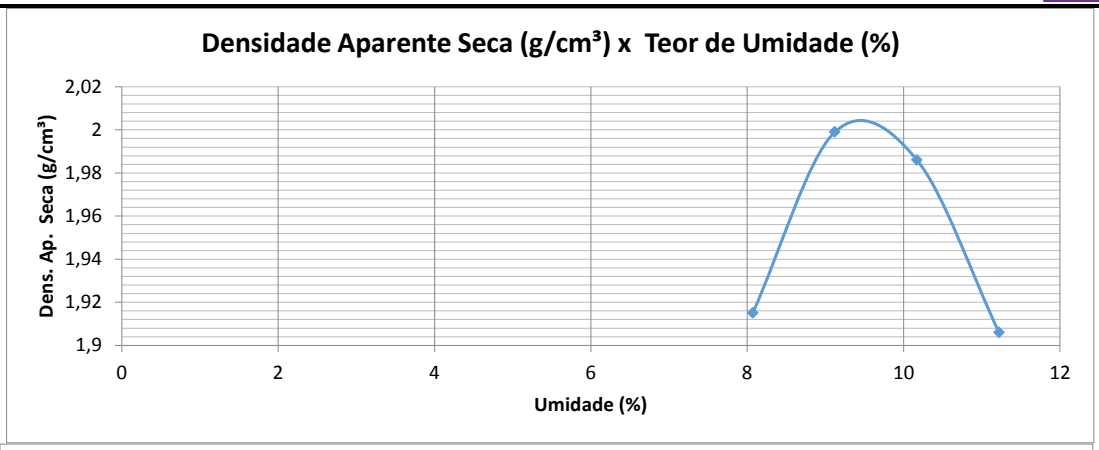
REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
56	Argila Arenosa	Sub leito	UA04	Km260			Guilherme

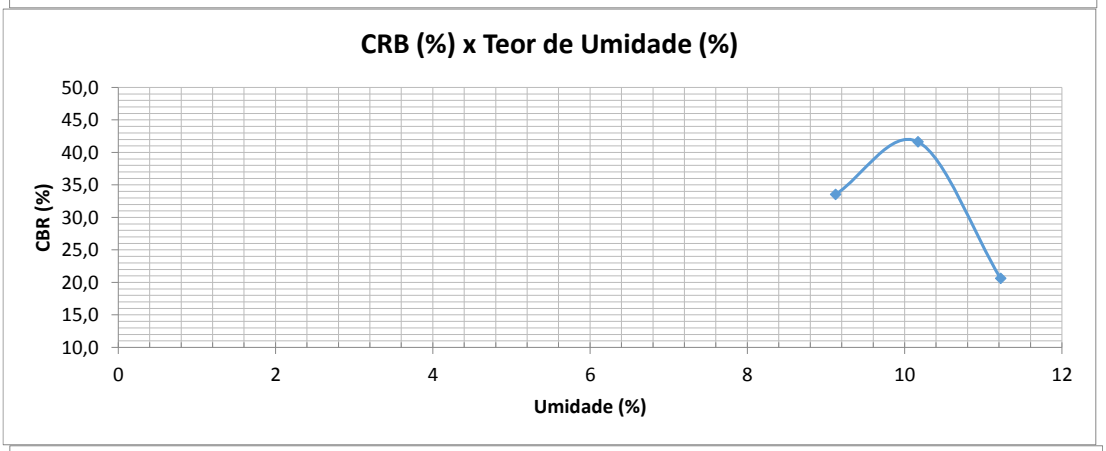
Cilindro nº		12		2		6					
Alturas dos CP´s		113,30		115,30		113,20					
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
17/03/16	11:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
18/03/16	11:40	2,03	0,03	2,04	0,03	2,01	0,01				
19/03/16	11:40	2,07	0,03	2,05	0,01	2,02	0,01				
20/03/16	11:40	2,10	0,03	2,05	0,00	2,02	0,00				
21/03/16	11:40	2,12	0,02	2,06	0,01	2,03	0,01				
Expansão Final (%)		0,11		0,05		0,03					

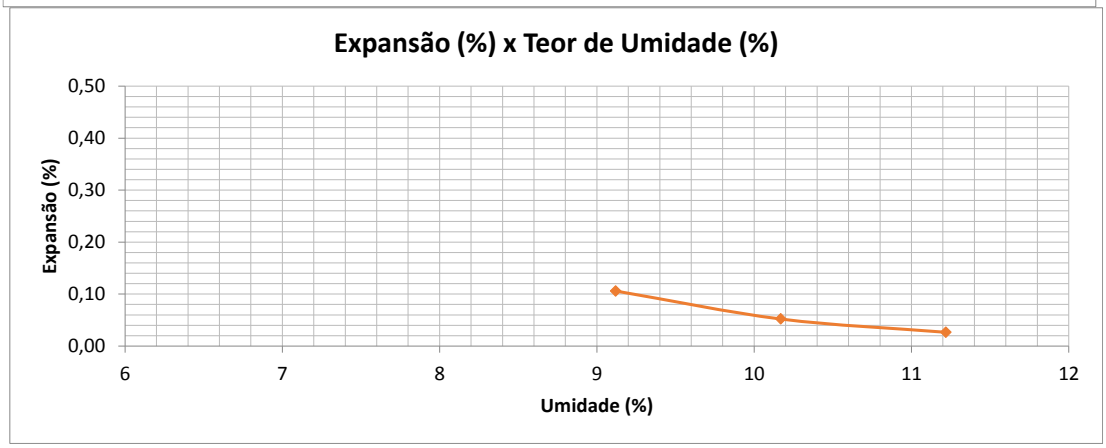
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

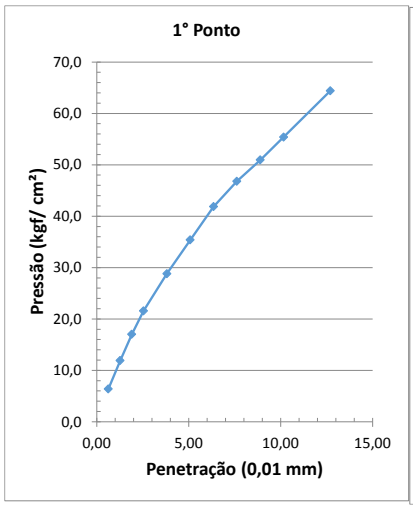
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel				0,0967
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	66	6,4	112	10,8	44	4,3				
1	1,27	123	11,9	188	18,2	73	7,1				
1,5	1,90	176	17,0	245	23,7	99	9,6				
2	2,54	223	21,6	303	29,3	125	12,1				
3	3,81	298	28,8	380	36,7	177	17,1				
4	5,08	366	35,4	438	42,3	225	21,8				
5	6,35	433	41,9	504	48,7	268	25,9				
6	7,62	484	46,8	557	53,8	311	30,1				
7	8,89	527	50,9	613	59,3	352	34,0				
8	10,16	573	55,4	661	63,9	394	38,1				
10	12,70	666	64,4	745	72,0	478	46,2				

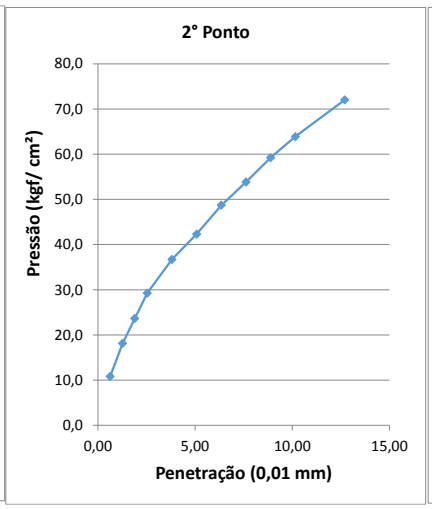
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		30,6		41,6		17,2				
I.S.C. 5,08 mm		33,5		40,1		20,6				

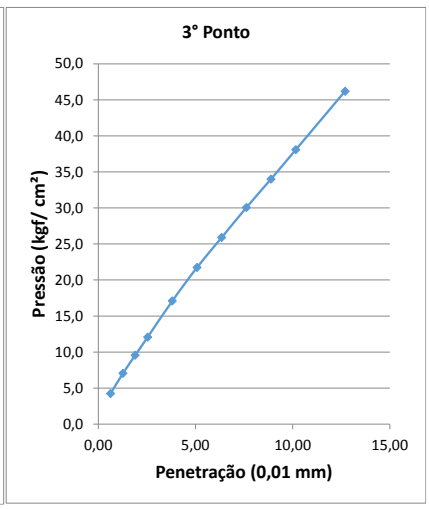

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,02
2
1,98
1,96
1,94
1,92
1,9
0
2
4
6
8
10
12
Umidade (%)


CRB (%) x Teor de Umidade (%)
CBR (%)
50,0
45,0
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
0
2
4
6
8
10
12
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade (%)
Expansão (%)
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
6
7
8
9
10
11
12
Umidade (%)

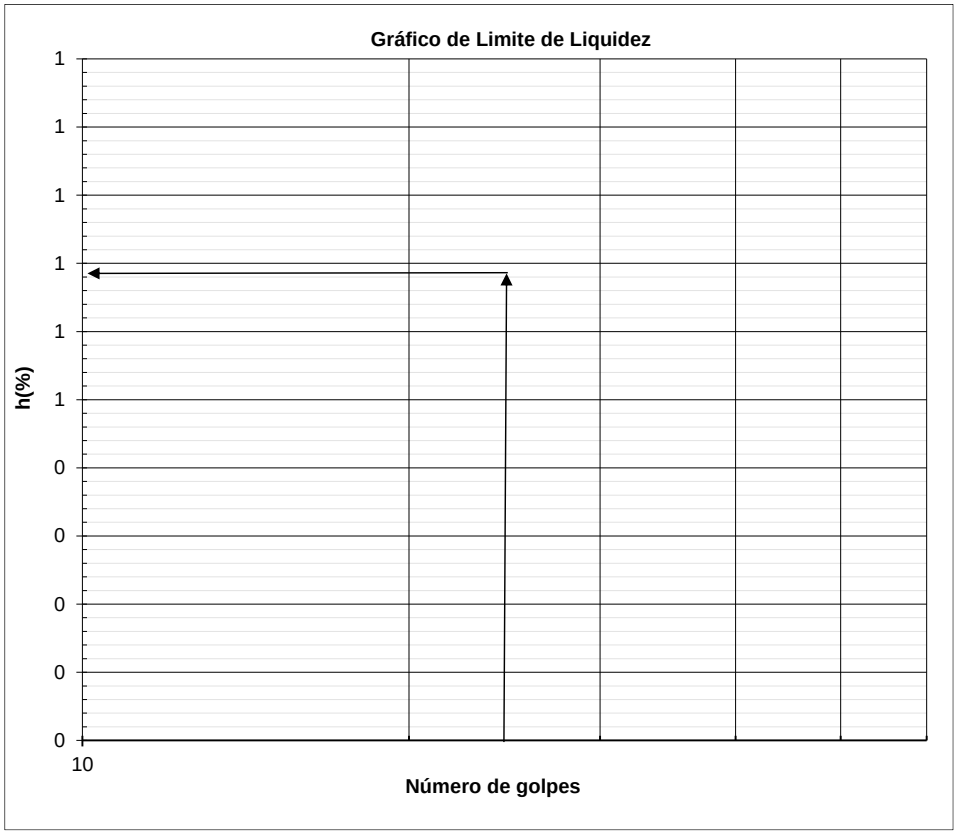

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
50,0
45,0
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
56					**UA04**		**GUILHERME**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)			NL					
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Nº de golpes								
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)			NP					
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)		
Limite de Plasticidade (LP)		
Índice de Plasticidade (IP)		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
VIA 040 — UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DENSIDADE "*in situ*"	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.XXX	

NORMA DNER 092/94

DATA:	17/02/2016	KM INICIAL:	UA04	KM FINAL:	
SENTIDO:		FAIXA:		OPERADOR:	

1. Peso Frasco Antes	7000			7000								
2. Peso Frasco Depois	5020			4765								
3. Peso Areia Deslocada	1980			2235								
4. Peso Areia no Cone*	488			488								
5. Peso Areia no Furo	1492			1747								
6. Densidade da areia (g/cm³) *	1,414			1,414								
7. Volume do Furo (cm³) - 5/6	1055			1236								
* DADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO												
UMIDADES - h	CAMPO			CAMPO			CAMPO			CAMPO		
Cápsula Nº.	47	67		40	61							
Cáp. + Solo + Água (g)	103	110,66		93,68	87,48							
Cápsula + Solo (g)	94,86	101,28		87,18	81,75							
Cápsula (g)	8,14	9,38		6,5	5,73							
Água (g)	17,304	15,197		15,534	16,755							
Solo Seco (g)	77,556	86,083		71,646	64,995							
Umidade %	10,5	10,9		9,1	8,8							
8. Umidade Média %	10,7			8,9								
Furo Nº.												
9. Peso Total do Material do Furo (g)	2440			2710								
10. Densidade Úmida (g/cm³) - 9/7	2,312			2,193								
11. Dens. Apar. Solo Seco (g/cm³) - 10/8	2,089			2,013								
Profundidade do Furo (cm)	17			19								
Camada	BASE			SUBLEITO								

Obs.: Espessura do cilindro: 17 mm
Brucutu subleito: 3020 g

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
VIA 040 — UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO MANCHA DE AREIA	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.xxx	

NORMA RT 03-25

PISTA:	BR 040											
KM	Bordo	Sentido	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Volume areia (mm³)	Diâmetro Médio Ds (mm)	Altura média Hs (mm)	OBS
UA04 -40m	BD	Norte	225	205	198	180	210		25000	203,6	0,77	
UA04 -20m	BE	Norte	260	260	255	235	255		25000	253	0,50	
UA04 +0m	BD	Norte	300	280	275	280	265		25000	280	0,41	
UA04 +20m	BE	Norte	270	250	250	260	285		25000	263	0,46	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
VIA 040 — UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA HD 15/87 e HD 36/87

PISTA:	BR 040								
KM	Bordo	Sentido	L1	L2	L3	L4	L5	Média	OBS.:
UA 4 -40 m	Direito	Norte	66	68	58	50	44	57,2	35°C
UA 4 -20 m	Esquerdo	Norte	72	70	73	75	60	70,0	35°C
UA 4	Direito	Norte	69	77	65	70	65	69,2	35°C
UA 4 +20 m	Esquerdo	Norte	65	72	65	66	67	67,0	35°C
UA 4 +40 m	Direito	Norte	71	70	65	65	64	67,0	35°C

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº		1/1
	ENSAIO TRELIÇA	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA DNIT 006/2003-PRO

PISTA:

Data	KM	Bordo	Sentido	Leitura (mm)	OBS.:
17/02/2016	UA 04	Direito	Sul	15	
17/02/2016	UA 04	Esquerdo	Norte	11	
17/02/2016	UA 04 -20m	Direito	Norte	13	
17/02/2016	UA 04 -20m	Esquerdo	Norte	11	
17/02/2016	UA 04 -40m	Direito	Norte	12	
17/02/2016	UA 04 -40m	Esquerdo	Norte	8	
17/02/2016	UA 04 +20m	Direito	Sul	11	
17/02/2016	UA 04 +20m	Esquerdo	Sul	12	
17/02/2016	UA 04 +40m	Direito	Sul	13	
17/02/2016	UA 04 +40m	Esquerdo	Sul	11	

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
	ENSAIO DE DEFLEXÃO NORMA DNIT 133/2010 - ME	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.013	

DATA:	18/fev	KM INICIAL	260+370/MG	SENTIDO:	SUL	K VIGA	2
FAIXA:	1	KM FINAL	260+570/MG	OPERADOR:		GILSON	

CÁLCULO DA BACIA DE DEFLEXÃO

UA 04 - 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,03	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,03	0,01	2,000	
		Deflexão (0,01mm)	2,0	-4,0	-8,0	-10,0	-10,0	-12,0	-12,0	-4,0	0,0		23,000
UA 04 - 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0,15	0,2	0,23	0,25	0,25	0,25	0,22	0,22	44,000	
		Deflexão (0,01 mm)	44,0	14,0	4,0	-2,0	-6,0	-6,0	-6,0	0,0	0,0		
UA 04	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,05	0,09	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	26,000	
		Deflexão (0,01mm)	26,0	16,0	8,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0		35,000
UA 04	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (0,01 mm)	0	0,04	0,09	0,15	0,18	0,21	0,23	0,22	0,22	44,000	
		Deflexão (mm)	44,0	36,0	26,0	14,0	8,0	2,0	-2,0	0,0	0,0		
UA 04 + 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)											
		Deflexão (0,01mm)											
UA 04 + 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)											
		Deflexão (0,01mm)											

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
56	Argila arenosa	Sub leito	UA04		260			Guilherme

PERMEÂMETRO Nº.			
Constante do Ensaio	2,10	2,3.(a.L)/A	
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	
Volume do Corpo de Prova (cm³)	1005,18	V = L.A	
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	2129	gh = Ph/v	
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	1946	gs = gh/(1+h)	
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1	
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})	

Corpo de Prova Nº.			5
Comprimento (cm)		L =	12,8
Área (cm²)		A =	78,53
Diâmetro (cm)		f =	10
Peso (g)		Ph =	2140
OBS.:			

TEOR DE UMIDADE	ANTES				DEPOIS	
Cápsula Nº.	17	18				
Solo Úmido + Tara (g)	82,61	102,37				
Solo Seco + Tara (g)	76,93	95,01				
Tara (g)	16,53	16,61				
Solo Seco (g)	60,4	78,4				
Água (g)	5,68	7,36				
Umidade - h	9,4%	9,4%				
Média	9,4%					

Molde		Nº.	
Diâmetro (cm)		Φ=	10
Área (cm²)		A =	78,53
Bureta		Nº.	1
Diâmetro (cm)		Φ =	2,67
Área (cm²)		a =	5,60
K_T =	7,19E-04		K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)
K_{20} =	7,37E-04		K_{20} = C_K.K_T

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (ºC)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
09:56	49,66	80/70	223	213	1,0469484	0,0199253	8,42E-04	19	1,025	8,63E-04
	54,4	70/60	213	203	1,0492611	0,0208836	8,06E-04	19	1,025	8,26E-04
	57,58	60/50	203	193	1,0518135	0,0219387	8,00E-04	19	1,025	8,20E-04
	66,02	50/40	193	183	1,0546448	0,0231062	7,35E-04	19	1,025	7,53E-04
	124,11	40/30	183	173	1,0578035	0,024405	0,000412749	19	1,025	4,23E-04

Obs.:

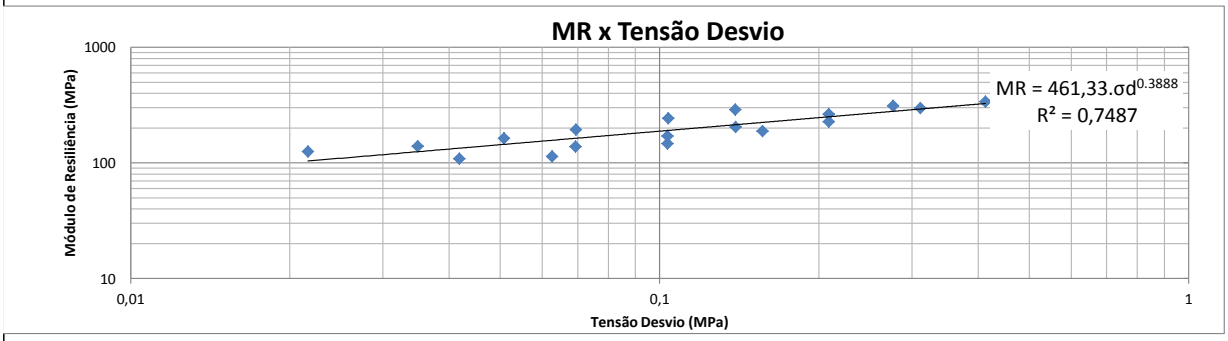
	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

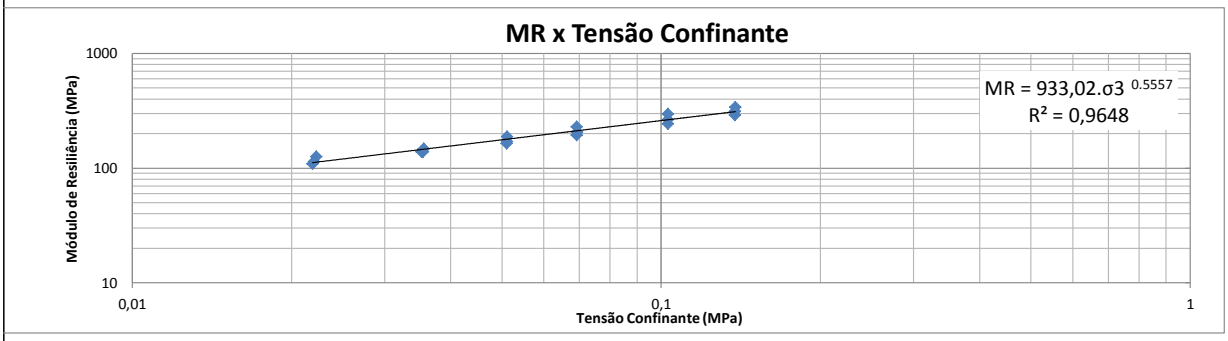
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
56			260+470 (UA04)	Subleito	Argila vermelha		06/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	100	94,52	90,97	86,38	70,86	63	61,82	59,94	56	49,25	32,68	20,78
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-2-4	9,42		2,09		37,50		0,02			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02227	0,02163	7,58%	4,49%	1,72E-04	126,125
0,0689	0,2068		0,0414	0,02190	0,04181	5,79%	1,00%	3,84E-04	109,026
0,1029	0,3090		0,0621	0,02205	0,06259	6,51%	0,79%	5,50E-04	113,854
		0,0345	0,0345	0,03520	0,03489	2,03%	1,14%	2,50E-04	139,416
			0,0689	0,03545	0,06940	2,74%	0,73%	5,00E-04	138,779
			0,1029	0,03559	0,10357	3,15%	0,65%	7,01E-04	147,654
		0,0504	0,0504	0,05102	0,05080	1,23%	0,80%	3,09E-04	164,194
			0,1029	0,05112	0,10357	1,42%	0,65%	6,05E-04	171,140
			0,1552	0,05110	0,15656	1,38%	0,88%	8,28E-04	188,983
		0,068	0,0689	0,06918	0,06942	1,74%	0,76%	3,58E-04	193,938
			0,1379	0,06926	0,13919	1,86%	0,93%	6,77E-04	205,687
			0,2068	0,06916	0,20889	1,70%	1,01%	9,14E-04	228,645
		0,1029	0,1029	0,10288	0,10392	0,02%	0,99%	4,26E-04	244,098
			0,2068	0,10291	0,20884	0,01%	0,99%	7,89E-04	264,731
			0,309	0,10291	0,31124	0,01%	0,73%	1,05E-03	297,612
		0,1379	0,1379	0,13788	0,13908	0,01%	0,86%	4,79E-04	290,530
			0,2747	0,13789	0,27626	0,01%	0,57%	8,82E-04	313,290
			0,412	0,13790	0,41301	0,00%	0,24%	1,21E-03	340,115





Observação:

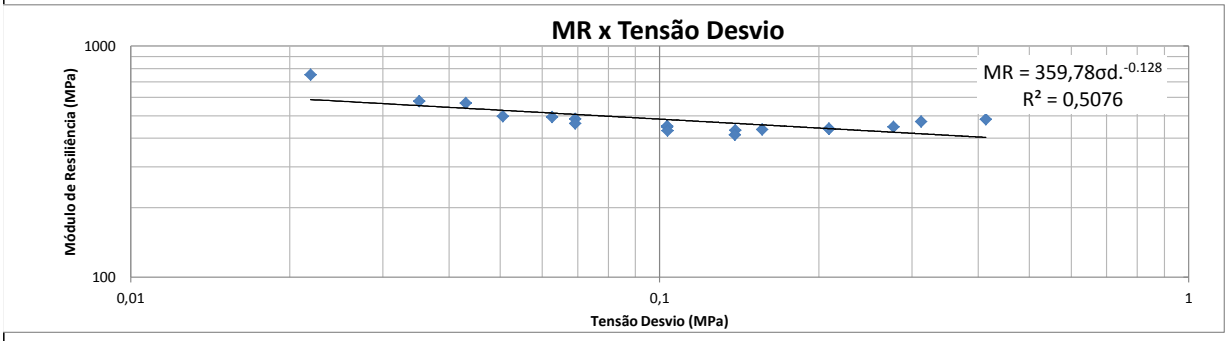
FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
	DATA	06/04/2015
	DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

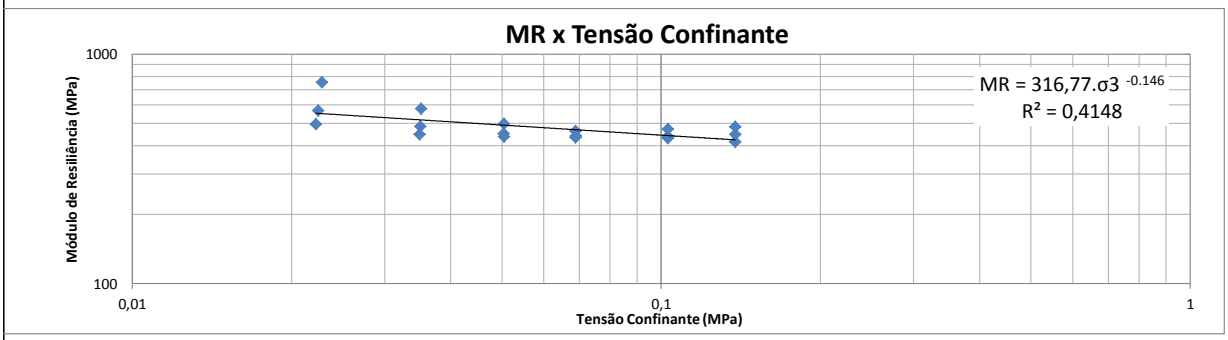
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
57			260+470 (UA04)	Base	Cascalho arenoso		06/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

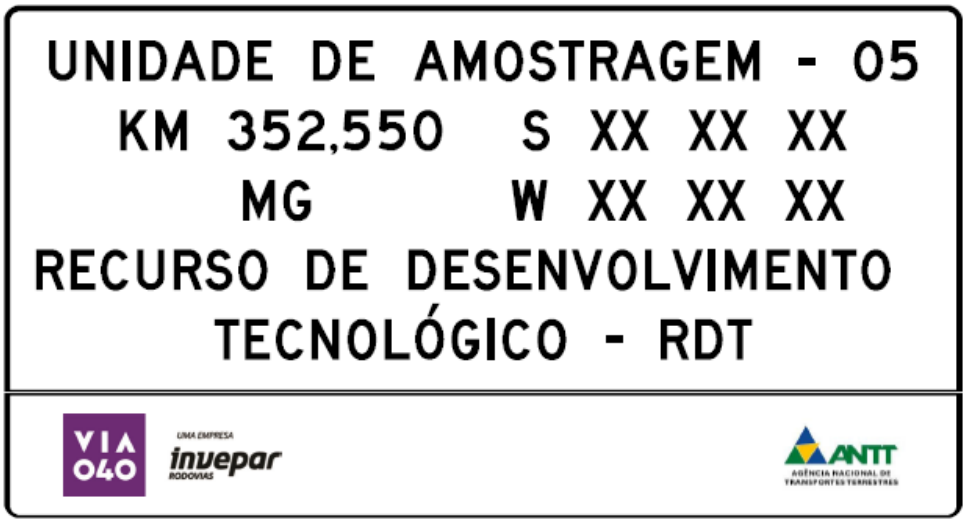
Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	93,21	85,83	80,79	72,33	53,61	52,87	51,43	59,53	47	43,06	34,6	26,34
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-2-4	8,40		2,096		85,00		0,08			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02284	0,02188	10,36%	5,69%	2,91E-05	753,761
0,0689	0,2068		0,0414	0,02245	0,04298	8,46%	3,81%	7,57E-05	567,904
0,1029	0,3090		0,0621	0,02223	0,06262	7,40%	0,84%	1,27E-04	494,640
		0,0345	0,0345	0,03514	0,03513	1,87%	1,84%	6,08E-05	577,996
			0,0689	0,03503	0,06922	1,54%	0,46%	1,43E-04	484,057
			0,1029	0,03493	0,10341	1,25%	0,49%	2,31E-04	448,062
		0,0504	0,0504	0,05040	0,05051	0,01%	0,22%	1,01E-04	497,922
			0,1029	0,05039	0,10327	0,02%	0,35%	2,29E-04	451,348
			0,1552	0,05042	0,15623	0,03%	0,66%	3,58E-04	436,482
		0,068	0,0689	0,06888	0,06921	1,29%	0,45%	1,50E-04	462,427
			0,1379	0,06891	0,13897	1,33%	0,77%	3,21E-04	433,483
			0,2068	0,06898	0,20911	1,45%	1,12%	4,75E-04	440,152
		0,1029	0,1029	0,10289	0,10357	0,01%	0,65%	2,41E-04	430,648
			0,2068	0,10291	0,20882	0,01%	0,97%	4,76E-04	438,693
			0,309	0,10292	0,31202	0,01%	0,98%	6,61E-04	472,388
		0,1379	0,1379	0,13791	0,13870	0,01%	0,58%	3,35E-04	414,172
			0,2747	0,13790	0,27657	0,00%	0,68%	6,17E-04	448,139
			0,412	0,13790	0,41386	0,00%	0,45%	8,58E-04	482,370





Observação:


UNIDADE DE AMOSTRAGEM - 05
KM 352,550 S XX XX XX
MG W XX XX XX
RECURSO DE DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO - RDT
VIA 040
UMA EMPRESA
invepar
RODOVIAS
ANTT
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS - VIA 040								
CAMPANHA DE CAMPO 01 - JANEIRO/FEVEREIRO - 2016								
QUADRO RESUMO								
UA 05		Km 352+550/MG			Camada			
					CA	Base	Sub-Base	Subleito
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Caracterização	Granulometria	% passando	3 "	-	100,00	100,00	CAMADA NÃO COLETADA
				2 "	-	100,00	100,00	
				1 1/2 "	-	100,00	100,00	
				1 "	-	100,00	100,00	
				3/4 "	-	97,45	97,17	
				1/2 "	-	92,41	92,04	
				3/8 "	-	77,25	77,51	
				nº 4	-	52,79	49,53	
				nº 8	-	37,97	34,84	
				nº 10	-	36,20	32,94	
				nº 16	-	31,54	28,38	
				nº 30	-	26,90	25,11	
				nº 40	-	24,96	23,85	
				nº 50	-	23,35	22,85	
				nº 80	-	22,42	22,14	
				nº 100	-	19,02	21,07	
				nº 200	-	14,95	19,70	
		Espesura da camada (cm)			5,00	17,00	19,00	
		Material			CBUQ	Bica Corrida	Cascalho arenoso	
		L.L.			-	23,50	32,00	
		L.P.			-	15,30	17,43	
		I.P.			-	8,20	14,57	
		I.G.			-	0	0	
		Classificação H.R.B.			-	A-2-4	A-2-6	
	Compactação	Dens. seca máx (g/cm³)			-	2,070	2,138	
		Umidade ótima (%)			-	7,60	10,40	
		CBR (%)			-	38,93	40,58	
		Expansão (%)			-	0,11	0,07	
	Módulo de Resiliência (Mpa)				-	-	-	
	Permeabilidade (cm/s)				-	4,02E-03	1,13E-06	
ENSAIOS *IN SITU*	Umidade natural (%)				-	4,45%	10,49%	CAMADA NÃO COLETADA
	Densidade úmida (g/cm³)				-	2,179	2,354	
	Dens. seca máx (g/cm³)				-	2,086	2,130	
	Grau de Compactação (%)				-	100,8%	99,6%	
	DCP - mm/golpe				-	-	-	
	Mancha de Areia - Hs (mm)				0,41	-	-	
	Pêndulo Britânico - VRD				81,72	-	-	
	Medição de ATR (mm)				8,80	-	-	
	Permeabilidade *in situ* (cm/s)				-	-	-	
	Deflexão máxima - VB (0,01 mm)				-3800,00	-	-	

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se IP ≤ LL -30, será A-7-5; Se IP > LL - 30, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \,.\, a + 0{,}005 \,.\, a \,.\, c + 0{,}01 \,.\, b \,.\, d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

a = p - 35	(se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35)	a varia de 0 a 40 e *0,2* . a varia de 0 a 8.
b = p - 15	(se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15)	b varia de 0 a 40 e *0,01* . b . d varia de 0 a
c = LL - 40	(se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40)	c varia de 0 a 20 e *0,005* . a . c varia de 0
d = IP - 10	(se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10)	d varia de 0 a 20 e *0,01* . b . d varia de 0

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	0	15
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	5	15

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	5	20
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	7	17

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

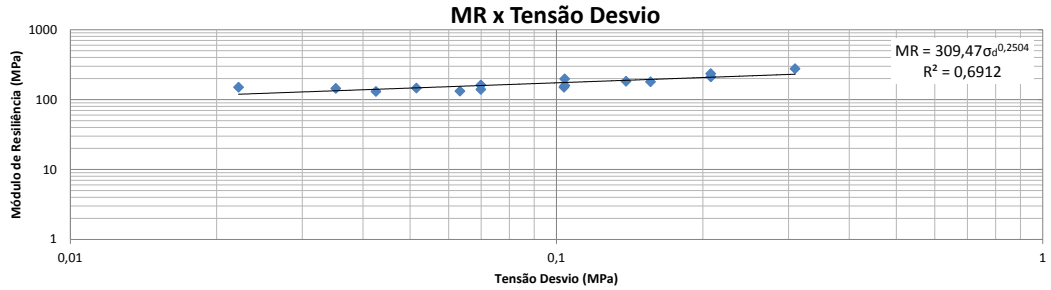
FORMULÁRIO								PAGINA N°	1/1
ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS								VERSÃO	00
								DATA	06/04/2015
								DOCUMENTO Nº	FO.RDT.XXX

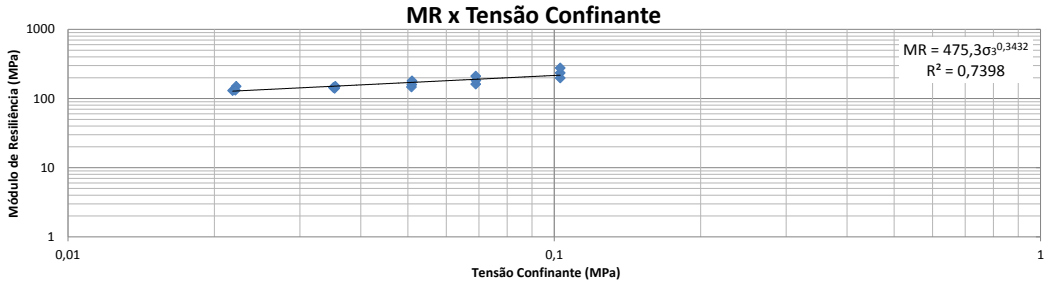
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
				Base			

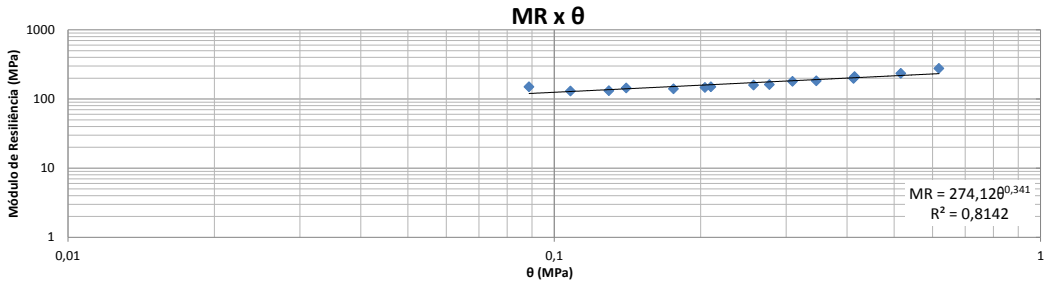
DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)													
IP		Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG		Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB													

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio (Média das 15 repetições por sequência)					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02219	0,02218	7,22%	7,17%	7,62E-09	150,292
0,0689	0,2068		0,0414	0,02182	0,04253	5,43%	2,72%	8,09E-09	130,409
0,1029	0,3090		0,0621	0,02209	0,06331	6,71%	1,94%	8,24E-09	131,922
		0,0345	0,0345	0,03517	0,03518	1,94%	1,98%	5,41E-09	143,921
			0,0689	0,03536	0,06991	2,48%	1,47%	4,41E-09	139,774
			0,1029	0,03548	0,10362	2,84%	0,70%	4,20E-09	149,718
		0,0504	0,0504	0,05089	0,05150	0,96%	2,18%	8,10E-09	146,237
			0,1029	0,05098	0,10406	1,14%	1,13%	8,88E-09	158,764
			0,1552	0,05100	0,15613	1,20%	0,60%	1,26E-08	179,863
		0,068	0,0689	0,06901	0,06992	1,48%	1,48%	1,58E-08	161,162
			0,1379	0,06901	0,13901	1,49%	0,80%	1,72E-08	182,761
			0,2068	0,06901	0,20784	1,48%	0,50%	1,96E-08	210,626
		0,1029	0,1029	0,10288	0,10398	0,02%	1,05%	2,73E-08	197,539
			0,2068	0,10291	0,20763	0,01%	0,40%	3,08E-08	234,337
			0,309	0,10290	0,30954	0,00%	0,18%	3,41E-08	275,870
		0,1379	0,1379	0,13787	0,11513	0,02%	16,51%	4,03E-08	205,307
			0,2747						
			0,412						







Observação:

FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
	DATA	06/04/2015
	DOCUMENTO Nº	FO.RDT.XXX

REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
				Sub-base			

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos	
LP (%)	
IP	
IG	
HRB	

Granulometria (% passando)							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30

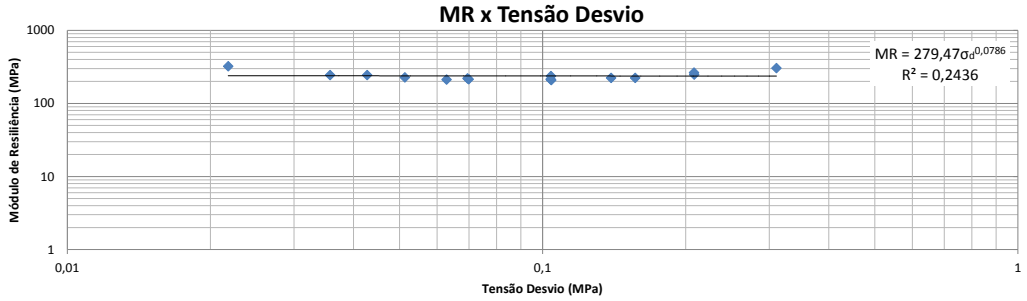
Compactação e CBR			
Úmidade ótima (%)	Dens. Máx seca(g/cm³)	CBR (%)	Expansão (%)

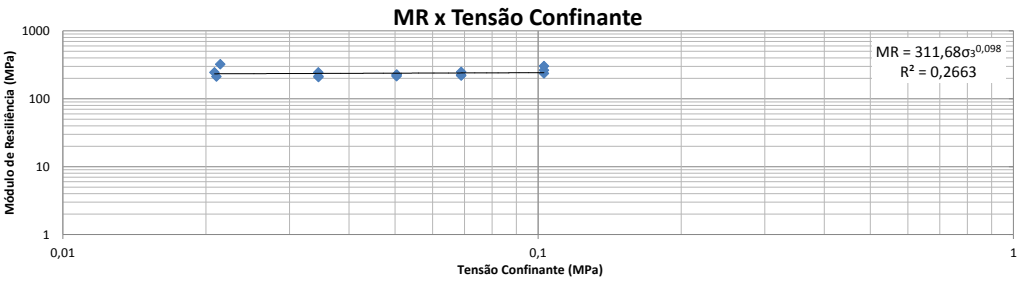
Características do Corpo de Prova			
Nº40	Nº50	Nº100	Nº200

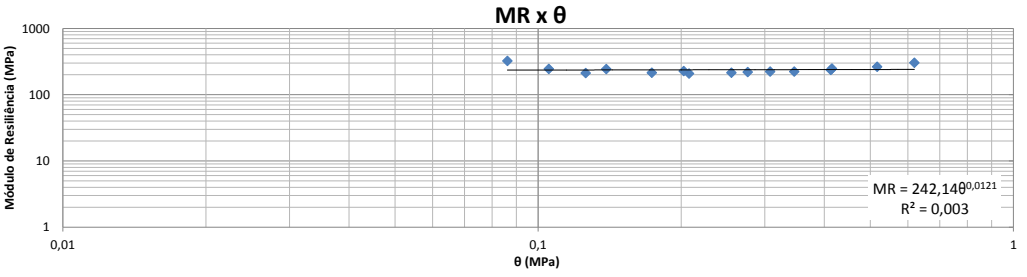
Características do Corpo de Prova			
Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes

Tensões de condicionamento	
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)
0,0689	0,0689
0,0689	0,2068
0,1029	0,3090

Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio (Média das 15 repetições por sequência)					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0207	0,0207	0,02146	0,02181	3,65%	5,37%	6,86E-05	322,578
	0,0414	0,02086	0,04276	0,75%	3,28%	1,75E-04	243,988
	0,0621	0,02106	0,06284	1,74%	1,19%	2,97E-04	211,738
0,0345	0,0345	0,03450	0,03572	0,00%	3,55%	1,47E-04	243,495
	0,0689	0,03452	0,06993	0,06%	1,49%	3,27E-04	213,898
	0,1029	0,03452	0,10437	0,05%	1,42%	5,02E-04	207,916
0,0504	0,0504	0,05042	0,05131	0,05%	1,82%	2,27E-04	226,417
	0,1029	0,05041	0,10401	0,03%	1,08%	4,86E-04	214,212
	0,1552	0,05041	0,15674	0,02%	0,99%	7,03E-04	223,045
0,068	0,0689	0,06890	0,06955	1,33%	0,94%	3,17E-04	219,133
	0,1379	0,06889	0,13945	1,31%	1,12%	6,24E-04	223,550
	0,2068	0,06890	0,20857	1,32%	0,86%	8,42E-04	247,799
0,1029	0,1029	0,10289	0,10421	0,01%	1,27%	4,42E-04	235,679
	0,2068	0,10289	0,20827	0,01%	0,71%	7,92E-04	263,074
	0,309	0,10289	0,31056	0,01%	0,50%	1,02E-03	303,071
0,1379	0,1379	0,13791	0,09244	0,01%	32,97%	3,96E-04	233,014
	0,2747	0,13792	0,34288	0,01%	24,82%	1,10E-03	253,165
	0,412	0,13786	0,45460	0,03%	10,34%	1,71E-03	250,383







Observação:

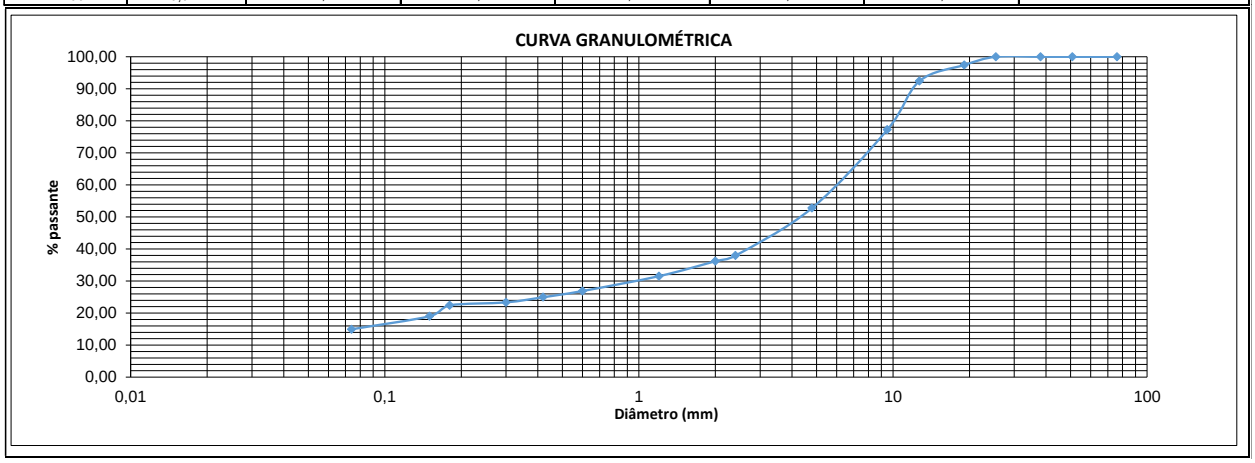
Conforme indicado nas células em vermelho, os valores obtidos na 16ª, 17ª e 18ª sequências foram desprezados pelo fato de o estado de tensões aplicado ser muito diferente do esperado.

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS		VERSÃO	00
	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
65				**UA05**	Bica Corrida		Base	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	39	61	Pedregulho: acima 4,8 mm	47,21
Recipiente nº 2	Retido nº10	1266,20	C + S + A (g)	95,36	94,45	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	16,60
	Passando nº 10 úmida	733,80	C + S (g)	93,71	92,77	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	11,24
Retido nº 10	Peso da água	15,47	A = Água (g)	1,65	1,68	Areia Fina: entre nº 40 e 200	10,00
	Passando nº10 seca	718,325	C = Cápsula (g)	15,082	16,755	Passando nº 200	14,95
Recipiente nº: 3	Amostra Total Seca	1984,53	S = Solo (g)	78,628	76,015	TOTAL	100,00
	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	2,10	2,21	Retido: (nº 10 - nº 200)	21,24
	Amostra menor nº10 seca	195,78	Fator de Correção	0,9789			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0,00		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	50,60		2,55	2,55	97,45
1/2 pol	12,70	100,00		5,04	7,59	92,41
3/8 pol	9,50	300,90		15,16	22,75	77,25
nº 4	4,80	485,30		24,45	47,21	52,79
nº 8	2,40	294,30		14,83	62,03	37,97
nº 10	2,00	35,10		1,77	63,80	36,20
nº 16	1,20	25,20	12,87	4,66	68,46	31,54
nº 30	0,60	25,10	12,82	4,64	73,10	26,90
nº 40	0,42	10,50	5,36	1,94	75,04	24,96
nº 50	0,30	8,70	4,44	1,61	76,65	23,35
nº 80	0,18	5,00	2,55	0,92	77,58	22,42
nº 100	0,15	18,40	9,40	3,40	80,98	19,02
nº 200	0,074	22,00	11,24	4,07	85,05	14,95



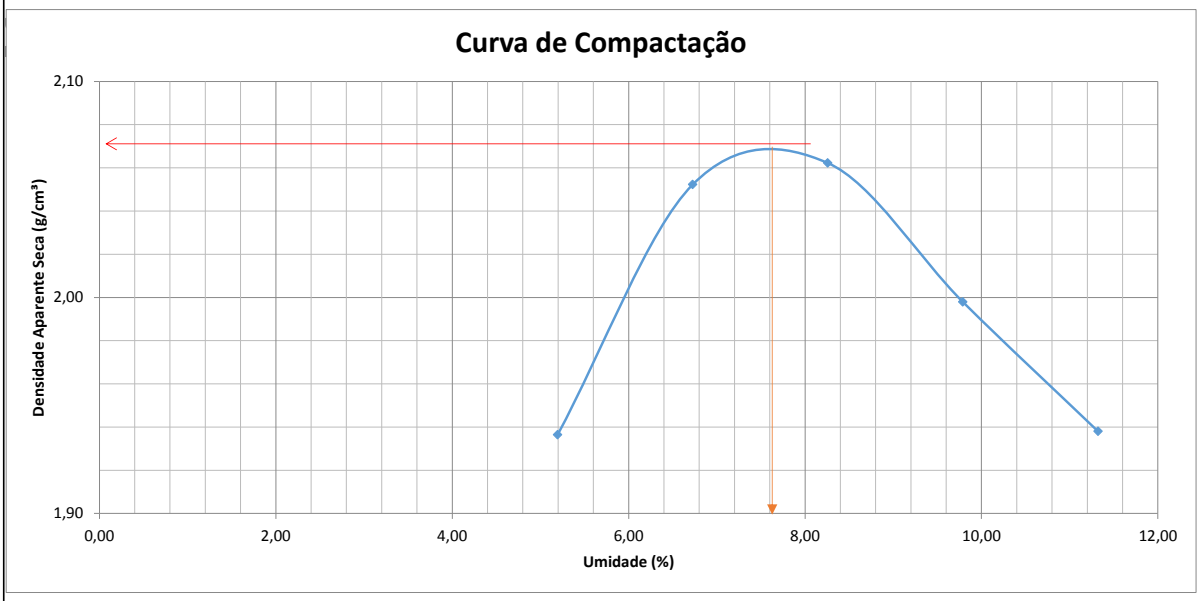
	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.001

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
65	352+500	UA05	Base	Bica corrida	-	29/02/2016

% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
37,70%	Intermediário	26	**8.000,00**	7833,2	166,8	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											5	8	
C + S + A (g)											351,58	391,48	
C + S (g)											345,39	384,28	
A - ÁGUA (g)											6,2	7,2	
C - CÁPSULA (g)											48,58	52,64	
S - SOLO (g)											296,8	331,6	
UMIDADE (%)											2,1	2,2	
UMIDADE MÉDIA											2,1		
UMID. ADOTADA (%)	5,19		6,73		8,26		9,79		11,32		FATOR DE CORREÇÃO		
UMIDADE CALCULADA (%)	5,19		6,73		8,26		9,79		11,32		0,9791		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,936		2,052		2,062		1,998		1,938		Moldes		
COMPACTAÇÃO											N°	Peso	Volume
CILINDRO Nº	2		6		16		4		8		2	5465	2084
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240		360		480		600		720		8	5495	2049
ÁGUA ADICIONADA (%)	3		4,5		6		7,5		9		16	5555	2060
M + S + A (g)	9710		10020		10155		9980		9915		18	5525	2043
M - MOLDE (g)	5465		5515		5555		5500		5495		16	5555	2060
S + A (g)	4245		4505		4600		4480		4420		**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
VOL. CILINDRO (cm³)	2084		2057		2060		2042		2049		7,6		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,037		2,190		2,233		2,194		2,157		**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	1,978		2,096		2,106		2,040		1,979		2,070		

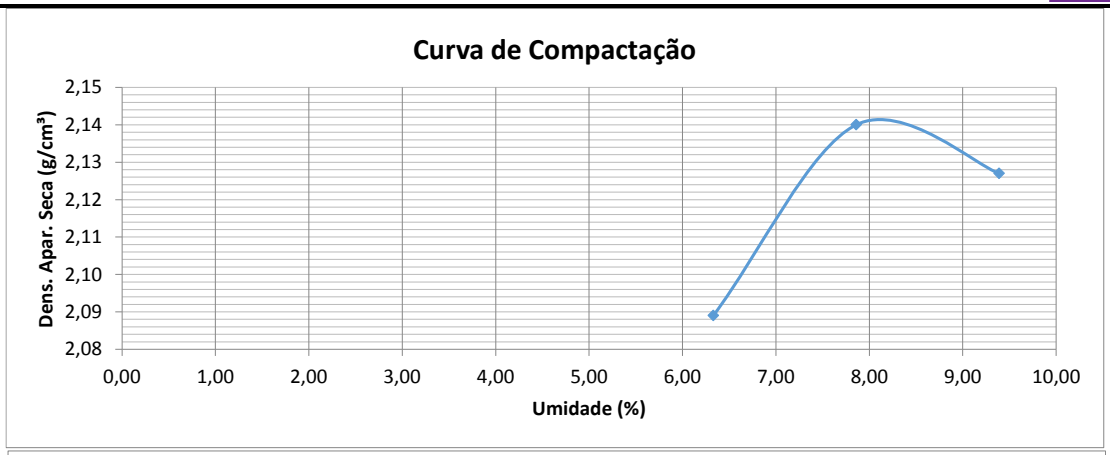


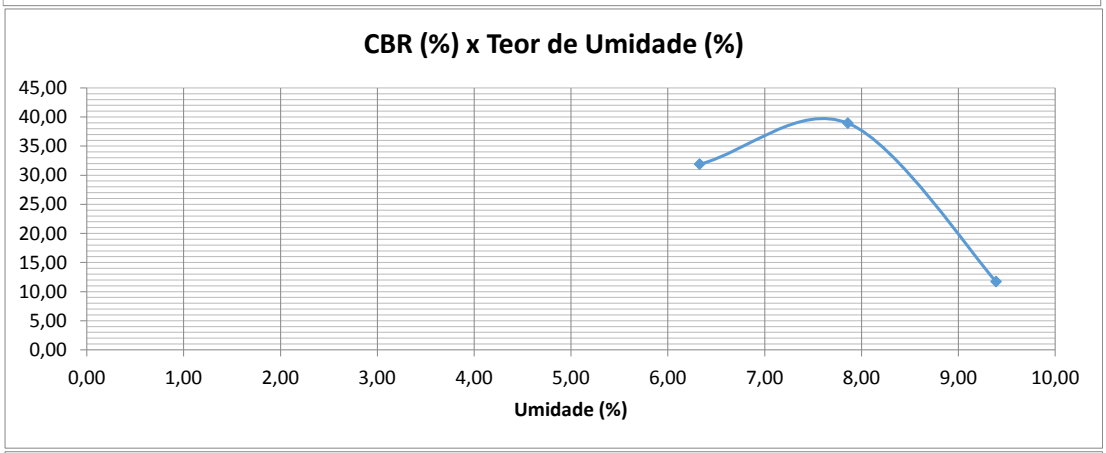
	FORMULÁRIO							**PAGINA N°**			**1/1**
	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94							**VERSÃO**			**00**
								DATA			
								DOCUMENTO Nº FO.RDT.004			
REGISTRO Nº	MATERIAL		CAMADA		PROCED.	ESTACA		ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR	
65	**Bica corrida**		**Base**		**UA05**	**km 352+500**		**55**			
Cilindro nº	16		6		4						
Alturas dos CP´s	113,40		113,20		113,00						
Data / Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	
24/03/16 15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00					
25/03/16 15:30	2,10	0,00	2,09	0,00	2,00	0,00					
26/03/16 15:30	2,14	0,00	2,11	0,00	2,06	0,00					
27/03/16 15:30	2,15	0,00	2,13	0,00	2,09	0,00					
28/03/16 15:30	2,15	0,00	2,13	0,00	2,10	0,00					
Expansão Final (%)	0,13		0,11		0,09						

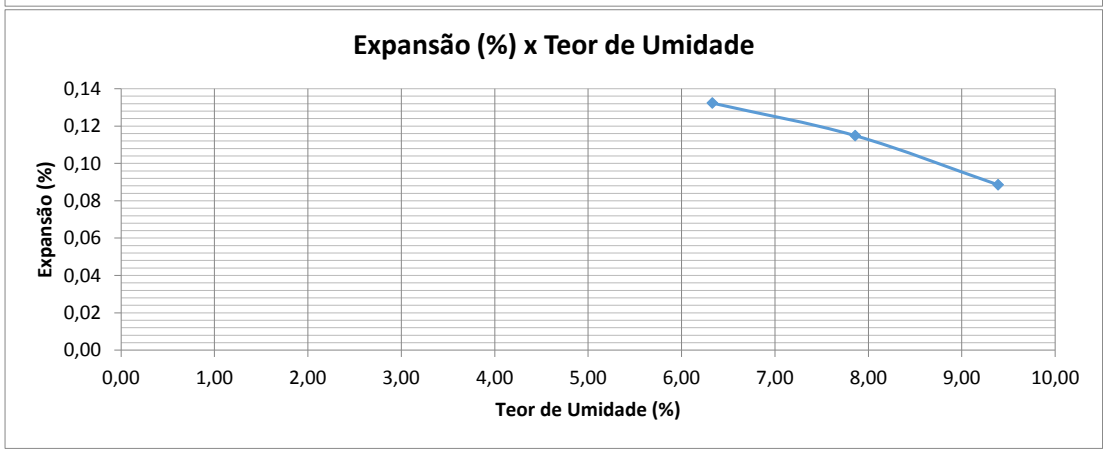
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

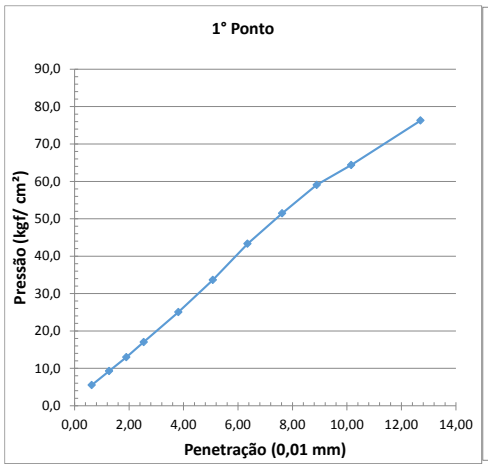
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel			0,0967	
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	57	5,5	66	6,4	33	3,2				
1	1,27	96	9,3	125	12,1	44	4,3				
1,5	1,90	134	13,0	169	16,3	56	5,4				
2	2,54	176	17,0	243	23,5	70	6,8				
3	3,81	259	25,0	339	32,8	98	9,5				
4	5,08	348	33,6	425	41,1	128	12,4				
5	6,35	448	43,3	508	49,1	161	15,6				
6	7,62	532	51,4	565	54,6	198	19,1				
7	8,89	611	59,1	639	61,8	235	22,7				
8	10,16	666	64,4	679	65,6	267	25,8				
10	12,70	789	76,3	775	74,9	348	33,6				

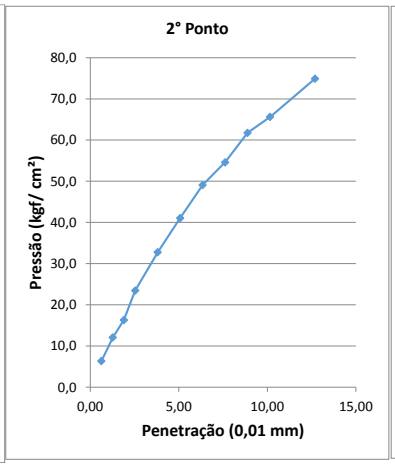
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		24,2		33,4		9,6				
I.S.C. 5,08 mm		31,9		38,9		11,7				

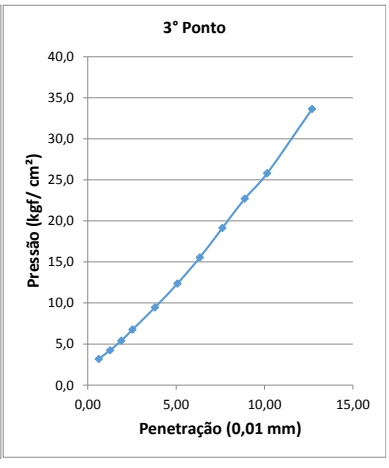

Curva de Compactação
Dens. Apar. Seca (g/cm³)
2,15
2,14
2,13
2,12
2,11
2,10
2,09
2,08
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Umidade (%)


CBR (%) x Teor de Umidade (%)
45,00
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade
Expansão (%)
0,14
0,12
0,10
0,08
0,06
0,04
0,02
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Teor de Umidade (%)

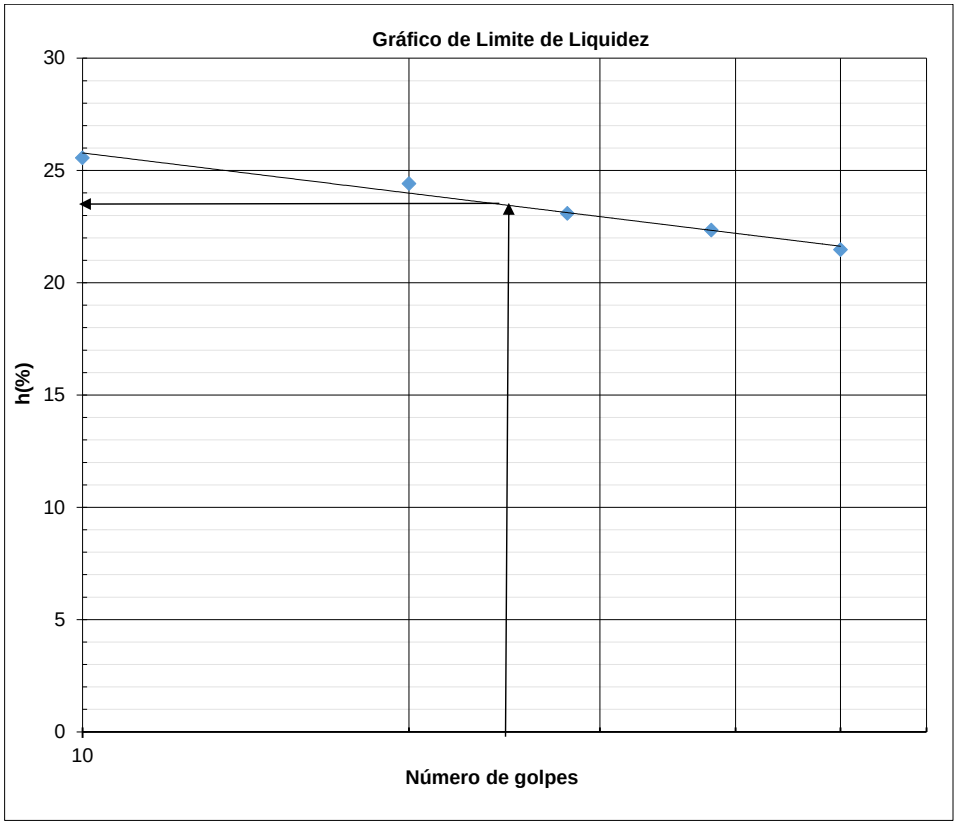

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
14,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
65					**UA05**		**GUILHERME**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº	79	72	68	40	51			
Cápsula+Solo Úmido (g)	17,44	17,34	17,95	17,14	17,25			
Cápsula+Solo Seco (g)	15,72	15,58	16,02	15,26	15,23			
Peso da Água (g)	1,72	1,76	1,93	1,88	2,02			
Peso da Cápsula (g)	7,71	7,70	7,66	7,56	7,33			
Peso do Solo Seco (g)	8,012	7,879	8,359	7,701	7,904			
Teor de Umidade (%)	21,47	22,34	23,09	24,41	25,56			
Nº de golpes	50	38	28	20	10			
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº	13	50	17	93	28			
Cápsula+Solo Úmido (g)	9	9,18	9,11	8,31	9,61			
Cápsula+Solo Seco (g)	8,85	8,99	8,9	8,1	9,45			
Peso da Água (g)	0,15	0,19	0,21	0,21	0,16			
Peso da Cápsula (g)	7,80	7,76	7,57	6,69	8,39			
Peso do Solo Seco (g)	1,05	1,231	1,328	1,408	1,063			
Teor de Umidade (%)	14,29	15,43	15,81	14,91	15,05			
Umidade Média	15,10		Limite Superior		15,86	Limite Inferior		14,35
Verificação dos Limites		15,43	15,81	14,91	15,05			

Umidade Natural (h)	4,5	Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)	23,5	
Limite de Plasticidade (LP)	15,30	
Índice de Plasticidade (IP)	8,20	2,32

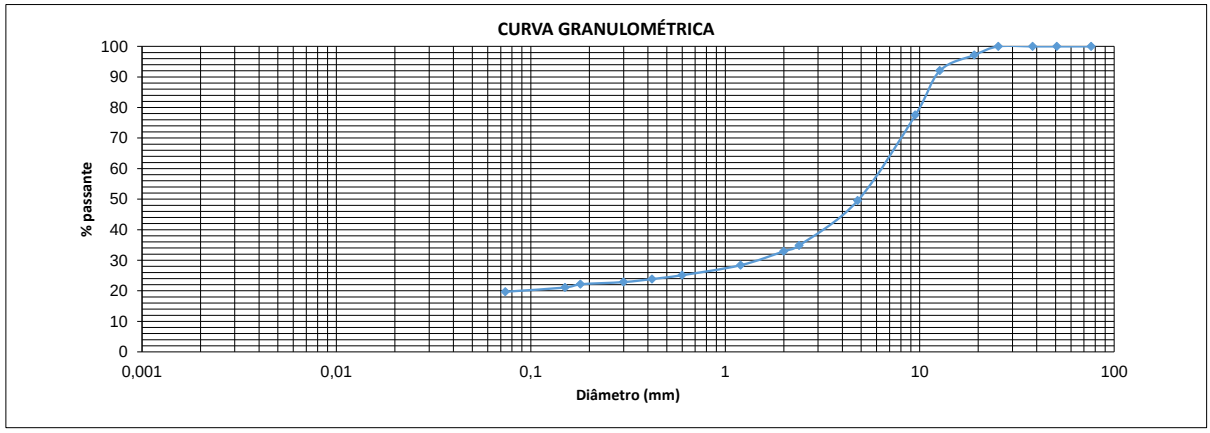


	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS		VERSÃO	00
	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
54	UA05				Cascalho arenoso		Sub base	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	60	68	Pedregulho: acima 4,8 mm	50,47
Recipiente nº	Retido nº10	1306,70	C + S + A (g)	78,22	72,63	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	16,59
5	Passando nº 10 úmida	693,30	C + S (g)	73,73	68,47	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	9,09
Retido nº 10	Peso da água	51,47	A = Água (g)	4,49	4,16	Areia Fina: entre nº 40 e 200	4,15
9	Passando nº10 seca	641,83	C = Cápsula (g)	17,437	16,873	Passando nº 200	19,70
Recipiente nº:	Amostra Total Seca	1948,53	S = Solo (g)	56,293	51,597	TOTAL	100,00
	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	7,98	8,06	Retido: (nº 10 - nº 200)	13,24
	Amostra menor nº10 seca	185,15	Fator de Correção	0,9258			

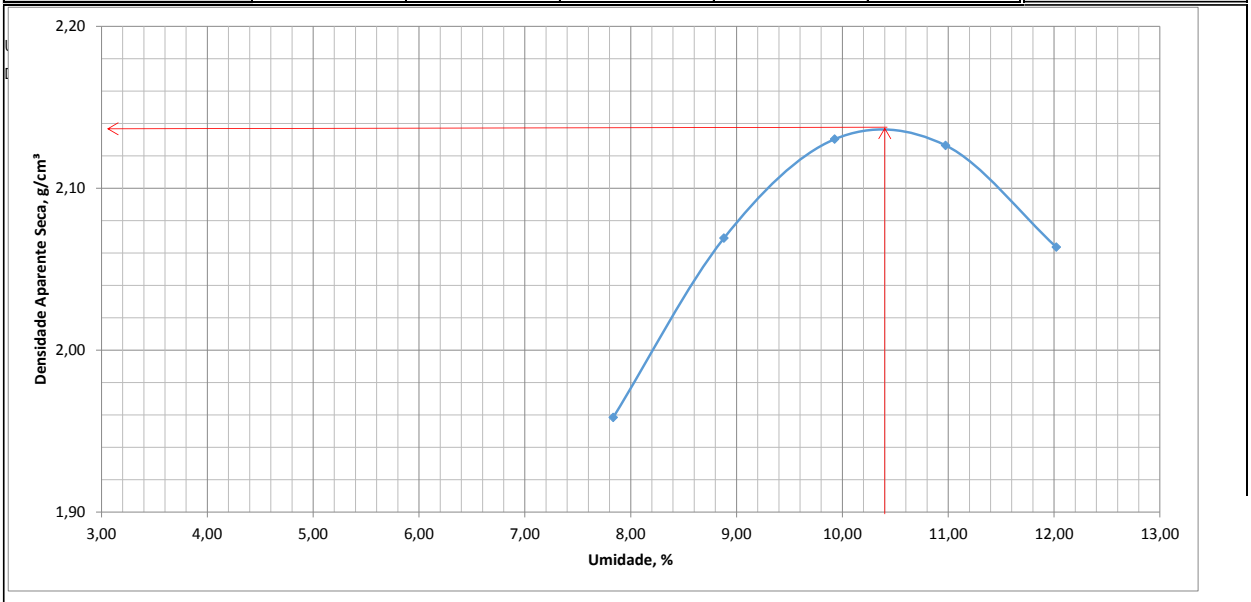
Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0,00		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	55,20		2,83	2,83	97,2
1/2 pol	12,70	100,00		5,13	7,96	92,0
3/8 pol	9,50	283,00		14,52	22,49	77,5
nº 4	4,80	545,30		27,99	50,47	49,5
nº 8	2,40	286,20		14,69	65,16	34,8
nº 10	2,00	37,00		1,90	67,06	32,9
nº 16	1,20	25,60	13,83	4,55	71,62	28,4
nº 30	0,60	18,40	9,94	3,27	74,89	25,1
nº 40	0,42	7,10	3,83	1,26	76,15	23,8
nº 50	0,30	5,60	3,02	1,00	77,15	22,9
nº 80	0,18	4,00	2,16	0,71	77,86	22,1
nº 100	0,15	6,00	3,24	1,07	78,93	21,1
nº 200	0,074	7,70	4,16	1,37	80,30	19,7



	FORMULÁRIO					PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA DNIT 124/94					VERSÃO	00
						DATA	27/11/2015
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.001	

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA	Folha
54	UA 05	352+500	Subbase	Cascalho arenoso	-	07/03/2016	1
% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
	Intermediário	26	8.000,00	7641,3	358,7	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						4,7		
	1	2	3	4	5	UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº						2	6	
C + S + A (g)						444,2	396,9	
C + S (g)						430,9	380,2	
A - ÁGUA (g)						13,4	16,7	
C - CÁPSULA (g)						80,65	80,95	
S - SOLO (g)						350,2	299,3	
UMIDADE (%)						3,8	5,6	
UMIDADE MÉDIA						FATOR DE CORREÇÃO		
UMID. ADOTADA (%)	7,83	8,88	9,93	10,98	12,02	0,9552		
UMIDADE CALCULADA (%)	7,83	8,88	9,93	10,98	12,02	Moldes		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,958	2,069	2,130	2,126	2,064	N°	Peso	Volume
COMPACTAÇÃO						13	5495	2098
CILINDRO Nº	13	2	18	5	1	2	5465	2084
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240	320	400	480	560	18	5525	2043
ÁGUA ADICIONADA (%)	3	4	5	6	7	5	5510	2030
M + S + A (g)	9925	10160	10310	10300	10390	1	5560	2089
M - MOLDE (g)	5495	5465	5525	5510	5560	UMIDADE ÓTIMA (%)		
S + A (g)	4430	4695	4785	4790	4830	10,4		
VOL. CILINDRO (cm³)	2098	2084	2043	2030	2089	DENS. SECA MÁX. (g/cm³)		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,112	2,253	2,342	2,360	2,312	2,138		

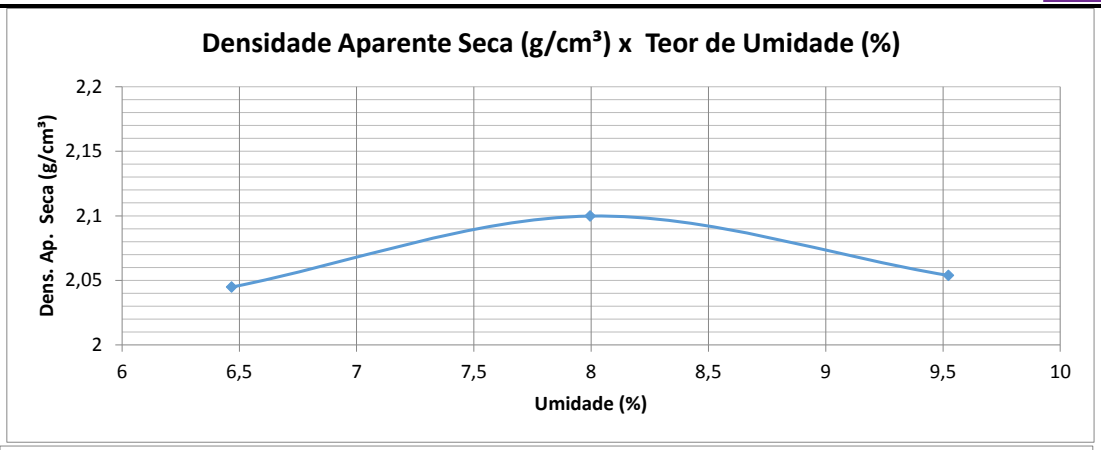


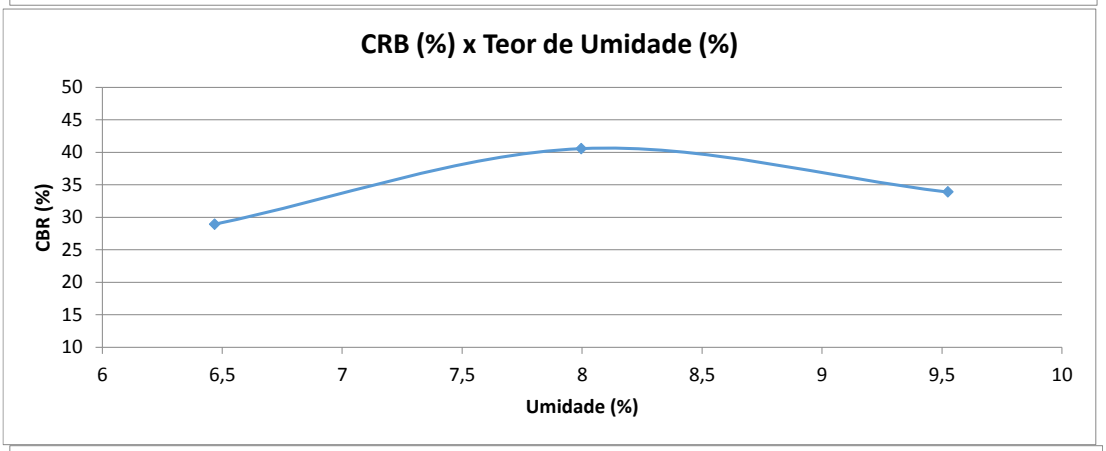
	FORMULÁRIO							**PAGINA N°**		**1/1**	
								VERSÃO		**00**	
	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94							**DATA**			
								DOCUMENTO Nº FO.RDT.004			
REGISTRO Nº	MATERIAL		CAMADA		PROCED.	ESTACA		ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR	
54	**Cascalho arenoso**		**Sub base**		**UA05**	**Km352+500**		**55**		**Guilherme**	
Cilindro nº	18		2		5						
Alturas dos CP´s	113,20		115,30		113,20						
Data / Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	
08/03/16 15:33	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00					
09/03/19 15:33	2,06	0,05	2,04	0,03	2,04	0,03					
09/03/22 15:33	2,06	0,00	2,06	0,02	2,08	0,03					
09/03/25 15:33	2,08	0,02	2,08	0,02	2,08	0,00					
10/03/25 15:33	2,08	0,00	2,08	0,00	2,08	0,00					
Expansão Final (%)	0,07		0,07		0,07						

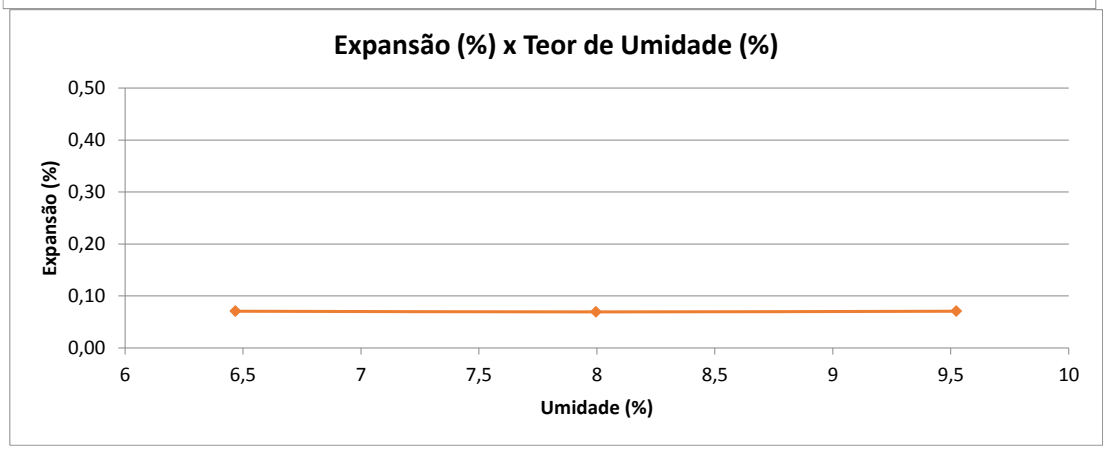
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

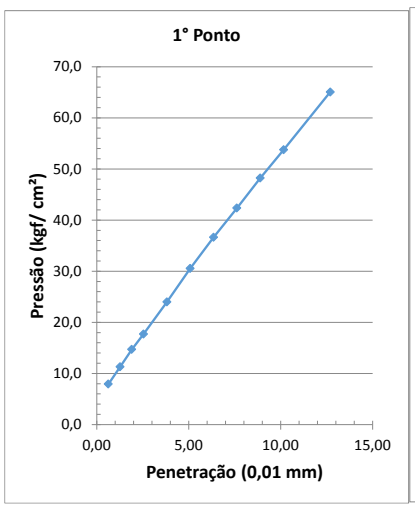
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel			0,0967		
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	82	7,9	81	7,8	67	6,5				
1	1,27	117	11,3	144	13,9	111	10,7				
1,5	1,90	152	14,7	205	19,8	155	15,0				
2	2,54	183	17,7	258	24,9	193	18,7				
3	3,81	248	24,0	356	34,4	278	26,9				
4	5,08	316	30,5	443	42,8	370	35,8				
5	6,35	379	36,6	517	50,0	449	43,4				
6	7,62	438	42,3	580	56,1	534	51,6				
7	8,89	499	48,2	639	61,8	609	58,9				
8	10,16	556	53,7	691	66,8	682	65,9				
10	12,70	673	65,1	789	76,3	782	75,6				

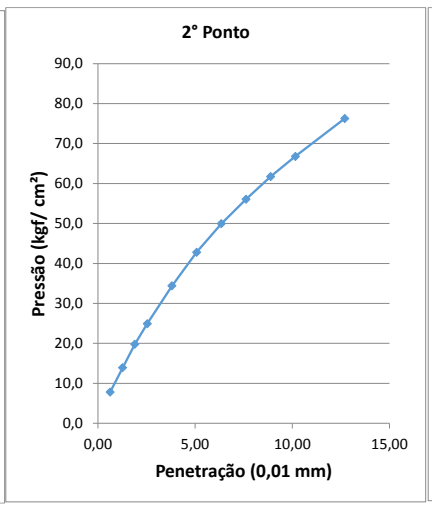
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		25,1		35,4		26,5				
I.S.C. 5,08 mm		28,9		40,6		33,9				

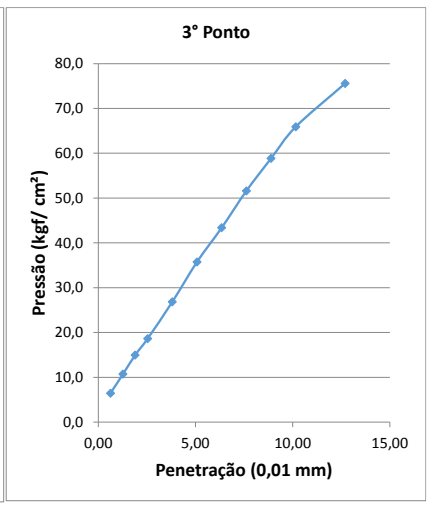

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,2
2,15
2,1
2,05
2
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
9,5
10
Umidade (%)


CRB (%) x Teor de Umidade (%)
CBR (%)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
9,5
10
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade (%)
Expansão (%)
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
9,5
10
Umidade (%)

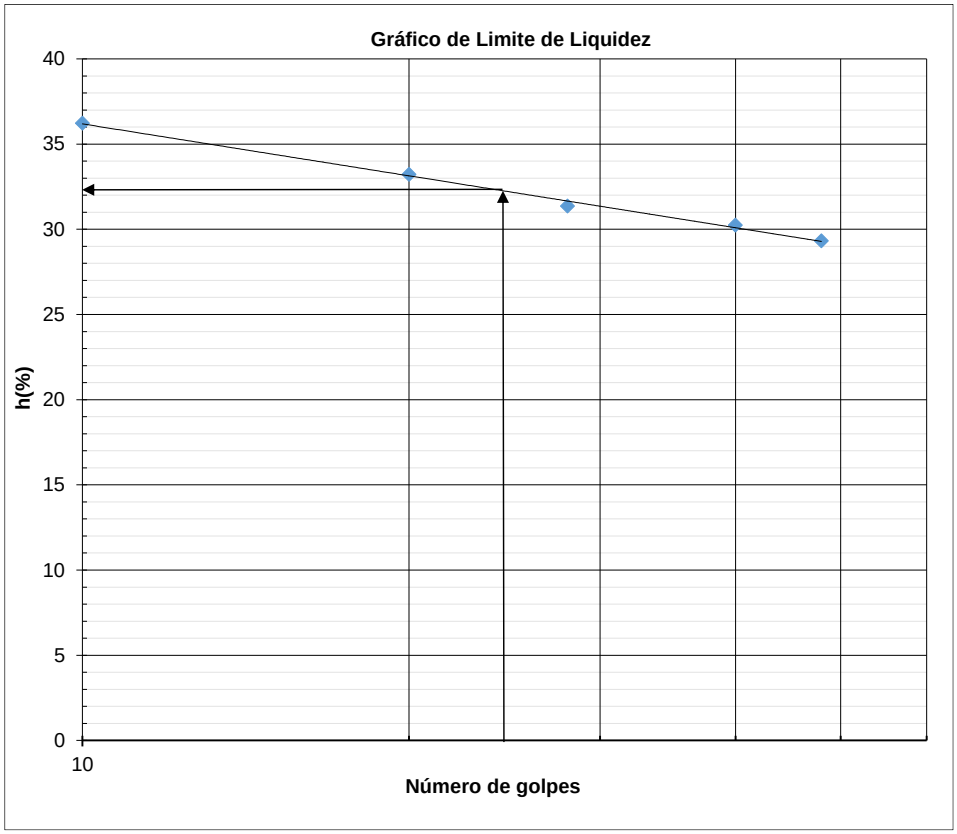

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
54					**UA05**		**GUILHERME**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº	54	8	26	70	15			
Cápsula+Solo Úmido (g)	18,82	18,81	18,67	18,07	19,82			
Cápsula+Solo Seco (g)	16,26	16,11	15,97	15,5	16,52			
Peso da Água (g)	2,56	2,7	2,7	2,57	3,3			
Peso da Cápsula (g)	7,53	7,18	7,36	7,76	7,41			
Peso do Solo Seco (g)	8,731	8,929	8,61	7,738	9,109			
Teor de Umidade (%)	29,32	30,24	31,36	33,21	36,23			
Nº de golpes	48	40	28	20	10			
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº	97	111	53	38	71			
Cápsula+Solo Úmido (g)	8,74	8,29	8,62	8,29	8,78			
Cápsula+Solo Seco (g)	8,61	8,18	8,47	8,14	8,64			
Peso da Água (g)	0,13	0,11	0,15	0,15	0,14			
Peso da Cápsula (g)	7,90	7,52	7,63	7,29	7,81			
Peso do Solo Seco (g)	0,71	0,659	0,843	0,855	0,828			
Teor de Umidade (%)	18,21	16,69	17,79	17,54	16,91			
Umidade Média	17,43		Limite Superior		18,30	Limite Inferior		16,56
Verificação dos Limites	18,21	16,69	17,79	17,54	16,91			

Umidade Natural (h)	10,49	Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)	32	
Limite de Plasticidade (LP)	17,43	
Índice de Plasticidade (IP)	14,57	1,48



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DENSIDADE "*in situ*"	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.XXX	

NORMA DNER 092/94

DATA:	**16/02/2016**	**KM INICIAL:**		**KM FINAL:**	
SENTIDO:	**SUL**	**FAIXA:**	**UA05**	**OPERADOR:**	

1. Peso Frasco Antes	7000,00	7000,00		
2. Peso Frasco Depois	4935,00	4890,00		
3. Peso Areia Deslocada	2065,00	2110,00		
4. Peso Areia no Cone*	488,00	488,00		
5. Peso Areia no Furo	1577,00	1622,00		
6. Densidade da areia (g/cm³) *	1,414	1,414		
7. Volume do Furo (cm³) - 5/6	1115,276	1147,100		

* DADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO

UMIDADES - h	BASE			SUB-BASE			SUB-LEITO					
Cápsula Nº.	17	98		77	6							
Cáp. + Solo + Água (g)	124,41	128,41		134,13	140,57							
Cápsula + Solo (g)	119,65	123,84		122,85	128,88							
Cápsula (g)	16,53	17,03		17,56	15,02							
Água (g)	4,76	4,57		11,28	11,69							
Solo Seco (g)	103,12	106,81		105,29	113,86							
Umidade %	4,62%	4,28%		10,71%	10,27%							
8. Umidade Média %	4,45%			10,49%								

Furo Nº.			
9. Peso Total do Material do Furo (g)	2430,000	2700,000	
10. Densidade Úmida (g/cm³) - 9/7	2,179	2,354	
11. Dens. Apar. Solo Seco (g/cm³) - 10/8	2,086	2,130	
Profundidade do Furo (cm)	17	19	
Camada	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO

Obs.:

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO MANCHA DE AREIA	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.xxx	

NORMA RT 03-25

PISTA:	BR 040											
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**L6**	**Volume areia (mm³)**	**Diâmetro Médio Ds (mm)**	**Altura média Hs (mm)**	**OBS**
UA05 -40m	BD	Norte	350	305	311	310	315		25000	318,2	0,31	
UA05 -20m	BE	Norte	285	305	290	283	295		25000	291,6	0,37	
UA05 +0m	BD	Norte	295	298	280	300	280		25000	290,6	0,38	
UA05 +20m	BE	Norte	225	250	240	205	240		25000	232	0,59	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA HD 15/87 e HD 36/87

PISTA:	BR 040								
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**Média**	**OBS.:**
UA 5 -40 m	Direito	Norte	70	75	73	72	80	74,0	51°C
UA 5 -20 m	Esquerdo	Norte	90	91	88	70	60	79,8	51°C
UA 5	Direito	Norte	77	75	75	80	81	77,6	51°C
UA 5 +20 m	Esquerdo	Norte	91	95	88	88	90	90,4	51°C
UA 5 +40 m	direito	Norte	85	85	89	87	88	86,8	51°C

FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
ENSAIO TRELIÇA	VERSÃO		00
	DATA		
	DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA DNIT 006/2003-PRO

PISTA:

Data	KM	Bordo	Sentido	Leitura (mm)	OBS.:
16/02/2016	UA 05	Esquerdo	Norte	6	
16/02/2016	UA 05	Direito	Sul	8	
16/02/2016	UA 05 +20m	Esquerdo	Sul	6	
16/02/2016	UA 05 +20m	Direito	Sul	8	
16/02/2016	UA 05 +40m	Esquerdo	Sul	6	
16/02/2016	UA 05 +40m	Direito	Sul	20	
16/02/2016	UA 05 -20m	Direito	Norte	9	
16/02/2016	UA 05 -20m	Esquerdo	Norte	9	
16/02/2016	UA 05 -40m	Direito	Norte	8	
16/02/2016	UA 05 -40m	Esquerdo	Norte	8	

FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
ENSAIO DE DEFLEXÃO NORMA DNIT 133/2010 - ME	VERSÃO	00
	DATA	27/11/2015
	DOCUMENTO Nº FO.RDT.013	

DATA:	18/fev	KM INICIAL	352+430	SENTIDO:	SUL	K VIGA	2
FAIXA:	1	KM FINAL	352+630	OPERADOR:		GILSON	

CÁLCULO DA BACIA DE DEFLEXÃO

UA 05 - 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,01	0,02	4,000	
		Deflexão (0,01mm)	4,0	0,0	-2,0	-4,0	-4,0	-6,0	-6,0	2,0	0,0		24,000
UA 05 - 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0,04	0,12	0,15	0,18	0,2	0,2	0,22	0,22	44,000	
		Deflexão (0,01 mm)	44,0	36,0	20,0	14,0	8,0	4,0	4,0	0,0	0,0		
UA 05	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,02	0,01	0,03	0,07	0,09	0,1	0,14	0,14	28,000	
		Deflexão (0,01mm)	28,0	24,0	26,0	22,0	14,0	10,0	8,0	0,0	0,0		48,000
UA 05	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (0,01 mm)	0	0,17	0,24	0,26	0,27	0,28	0,3	0,33	0,34	68,000	
		Deflexão (mm)	68,0	34,0	20,0	16,0	14,0	12,0	8,0	2,0	0,0		
UA 05 + 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,06	0,13	0,15	0,17	0,18	0,17	0,16	0,16	32,000	
		Deflexão (0,01mm)	32,0	20,0	6,0	2,0	-2,0	-4,0	-2,0	0,0	0,0		42,000
UA 05 + 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0,02	0,07	0,14	0,2	0,23	0,25	0,25	0,26	52,000	
		Deflexão (0,01mm)	52,0	48,0	38,0	24,0	12,0	6,0	2,0	2,0	0,0		

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
54	Casc. Argiloso	Sub. Base	UA05		352+500			Guilherme

PERMEÂMETRO Nº.			Corpo de Prova Nº.		5
Constante do Ensaio	2,10	2,3.(a.L)/A	Comprimento (cm)	L =	12,8
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	Área (cm²)	A =	78,54
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	Diâmetro (cm)	f =	10
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	Peso (g)	Ph =	2345
Volume do Corpo de Prova (cm³)	1005,31	V = L.A	OBS.:		
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	2357	gh = Ph/v			
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	2135	gs = gh/(1+h)			
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1			
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})			

TEOR DE UMIDADE							Molde	Nº.	
	ANTES			DEPOIS			Diâmetro (cm)	Φ=	10
Cápsula Nº.	19	23					Área (cm²)	A =	78,53981634
Solo Úmido + Tara (g)	94,23	92,66					Bureta	Nº.	1
Solo Seco + Tara (g)	86,91	85,52					Diâmetro (cm)	Φ =	2,67
Tara (g)	16,44	16,82					Área (cm²)	a =	5,60
Solo Seco (g)	70,47	68,7					K_T = 1,13E-06		K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)
Água (g)	7,32	7,14							
Umidade - h	10,4%	10,4%					K_{20} = 1,13E-06		K_{20} = C_K.K_T
Média	10,4%								

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (ºC)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
08:45	0	80	314	314	1	0	#DIV/0!	20	1,00	#DIV/0!
09:17	1920	79	314	313	1,0031949	0,0013853	1,51E-06	20	1,00	1,51E-06
09:52	5700	78	313	312	1,0032051	0,0013897	5,12E-07	20	1,00	5,12E-07
10:16	1440	77	312	311	1,0032154	0,0013942	2,03E-06	20	1,00	2,03E-06
10:58	6120	76,4	311	310	1,0032258	0,0013987	4,80E-07	20	1,00	4,79658E-07

Obs.:

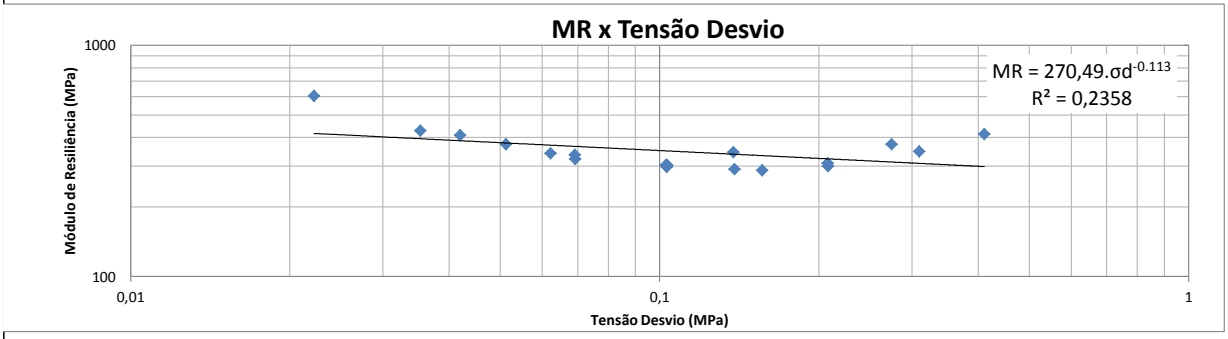
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

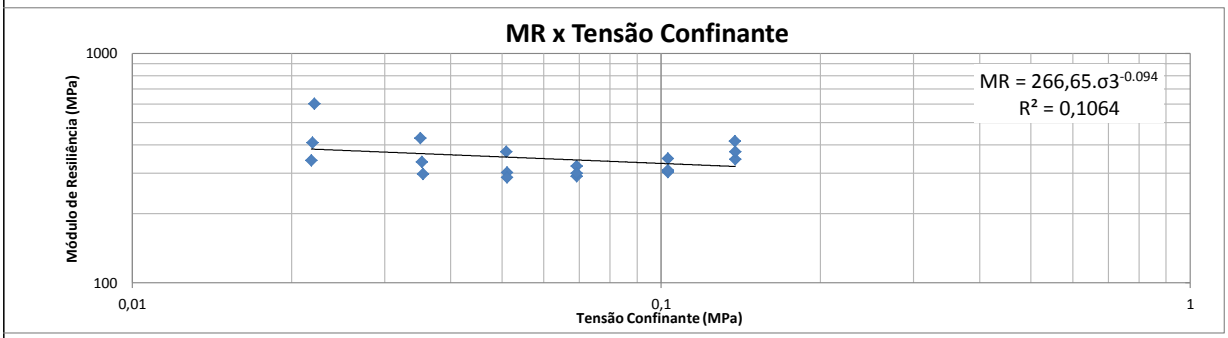
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
54			352+530 (UA05)	Sub-base	Cascalho arenoso		06/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	17,43	100	97,17	92,04	77,51	49,53	32,94	28,38	25,11	23,85	22,85	21,07	19,7
IP	14,57	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-2-6	10,4		2		40,5		0,07			10X20	4	

Tensões de condicionamento			Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)		σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0	0,0207	0,0207	0,02208	0,02220	6,64%	7,24%	3,68E-05	604,451
0,0689	0,2068	0		0,0414	0,02193	0,04197	5,92%	1,37%	1,03E-04	408,667
0,1029	0,3090	0		0,0621	0,02181	0,06218	5,34%	0,13%	1,82E-04	341,385
		0	0,0345	0,0345	0,03504	0,03527	1,55%	2,23%	8,25E-05	427,656
		0		0,0689	0,03530	0,06907	2,31%	0,25%	2,05E-04	336,499
		0		0,1029	0,03544	0,10324	2,72%	0,33%	3,47E-04	297,830
		0	0,0504	0,0504	0,05092	0,05125	1,03%	1,68%	1,37E-04	373,386
		0		0,1029	0,05108	0,10340	1,36%	0,48%	3,41E-04	303,334
		0		0,1552	0,05109	0,15637	1,38%	0,75%	5,42E-04	288,302
		0	0,068	0,0689	0,06917	0,06920	1,72%	0,43%	2,14E-04	323,121
		0		0,1379	0,06923	0,13857	1,81%	0,49%	4,75E-04	291,498
		0		0,2068	0,06917	0,20810	1,73%	0,63%	6,93E-04	300,350
			0,1029	0,1029	0,10287	0,10287	0,03%	0,03%	3,38E-04	304,273
				0,2068	0,10288	0,20776	0,02%	0,47%	6,71E-04	309,755
				0,309	0,10292	0,30978	0,02%	0,25%	8,90E-04	348,141
			0,1379	0,1379	0,13792	0,13795	0,01%	0,04%	3,99E-04	345,409
				0,2747	0,13791	0,27451	0,01%	0,07%	7,35E-04	373,373
				0,412	0,13789	0,41072	0,01%	0,31%	9,91E-04	414,439





Observação:

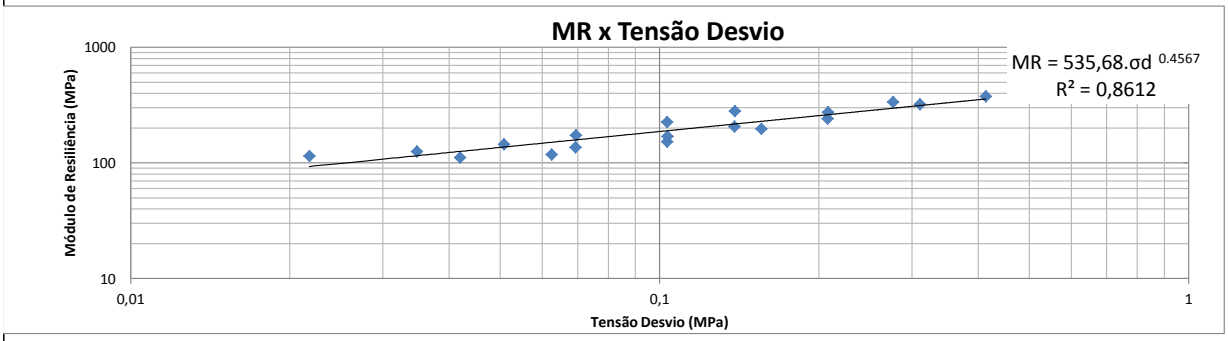
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

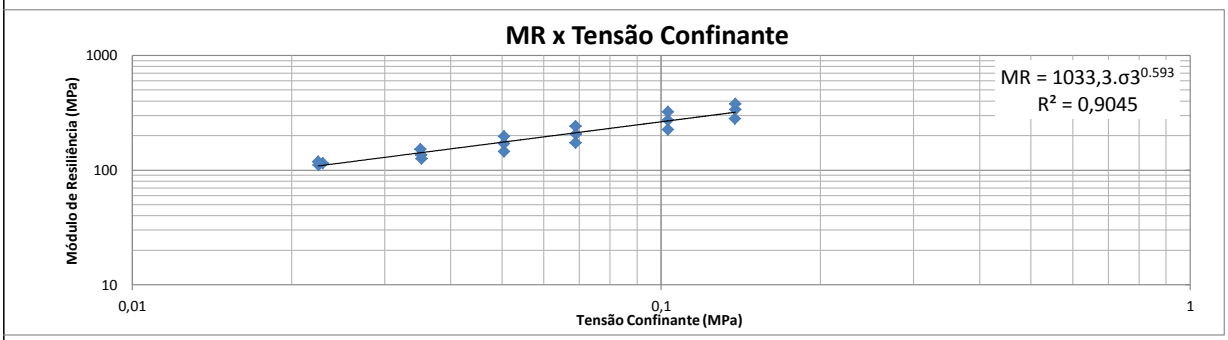
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
65			352+530 (UA05)	Base	Bica corrida		06/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

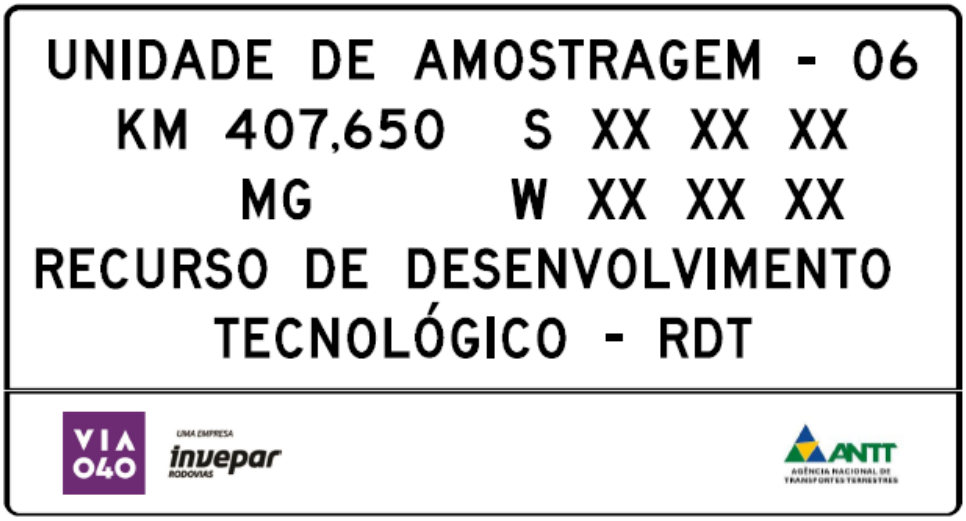
Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	15,3	100	97,45	92,41	77,25	52,79	36,2	31,54	26,9	24,96	23,35	19,02	14,95
IP	8,2	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-2-4	7,60		2,07		38,93		0,11			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02290	0,02177	10,62%	5,16%	1,90E-04	115,178
0,0689	0,2068		0,0414	0,02250	0,04195	8,68%	1,32%	3,78E-04	111,054
0,1029	0,3090		0,0621	0,02246	0,06255	8,50%	0,73%	5,27E-04	118,749
		0,0345	0,0345	0,03523	0,03479	2,11%	0,84%	2,76E-04	125,888
			0,0689	0,03515	0,06931	1,89%	0,60%	5,09E-04	136,073
			0,1029	0,03505	0,10341	1,60%	0,50%	6,77E-04	152,797
		0,0504	0,0504	0,05044	0,05078	0,08%	0,75%	3,50E-04	145,216
			0,1029	0,05041	0,10344	0,02%	0,53%	6,08E-04	170,207
			0,1552	0,05040	0,15583	0,01%	0,40%	7,92E-04	196,865
		0,068	0,0689	0,06889	0,06945	1,30%	0,79%	3,99E-04	173,899
			0,1379	0,06892	0,13850	1,35%	0,44%	6,70E-04	206,861
			0,2068	0,06889	0,20768	1,31%	0,42%	8,57E-04	242,373
		0,1029	0,1029	0,10293	0,10326	0,03%	0,35%	4,58E-04	225,325
			0,2068	0,10287	0,20798	0,03%	0,57%	7,59E-04	273,990
			0,309	0,10292	0,31059	0,02%	0,51%	9,64E-04	322,168
		0,1379	0,1379	0,13789	0,13882	0,00%	0,67%	4,95E-04	280,391
			0,2747	0,13790	0,27625	0,00%	0,57%	8,17E-04	338,104
			0,412	0,13790	0,41390	0,00%	0,46%	1,10E-03	377,243





Observação:


UNIDADE DE AMOSTRAGEM - 06
KM 407,650 S XX XX XX
MG W XX XX XX
RECURSO DE DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO - RDT
VIA 040
UMA EMPRESA
invepar
RODOVIAS
ANTT
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS - VIA 040								
CAMPANHA DE CAMPO 01 - JANEIRO/FEVEREIRO - 2016								
QUADRO RESUMO								
UA 06		Km 407+650 / MG			Camada			
					CA	Base	Sub-Base	Subleito
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Caracterização	Granulometria	% passando	3 "	-	100,00	CAMADA NÃO COLETADA	CAMADA NÃO COLETADA
				2 "	-	100,00		
				1 1/2 "	-	100,00		
				1 "	-	100,00		
				3/4 "	-	94,84		
				1/2 "	-	89,84		
				3/8 "	-	78,37		
				nº 4	-	56,59		
				nº 8	-	43,29		
				nº 10	-	41,13		
				nº 16	-	33,85		
				nº 30	-	26,46		
				nº 40	-	23,39		
				nº 50	-	20,95		
				nº 80	-	18,89		
				nº 100	-	17,30		
				nº 200	-	14,73		
		Espesura da camada (cm)			8,00	15,00		
		Material			CBUQ	Cascalho laterítico		
		L.L.			-	NL		
		L.P.			-	NP		
		I.P.			-	0		
		I.G.			-	0		
		Classificação H.R.B.			-	A-1-a		
	Compactação	Dens. seca máx (g/cm³)			-	2,080		
		Umidade ótima (%)			-	7,90		
		CBR (%)			-	29,86		
		Expansão (%)			-	0,06		
	Módulo de Resiliência (Mpa)				-	-		
	Permeabilidade (cm/s)				-	3,39E-04		
ENSAIOS *IN SITU*	Umidade natural (%)				-	5,8	CAMADA NÃO COLETADA	CAMADA NÃO COLETADA
	Densidade úmida (g/cm³)				-	2,240		
	Dens. seca máx (g/cm³)				-	2,117		
	Grau de Compactação (%)				-	101,76%		
	DCP - mm/golpe				-	-		
	Mancha de Areia - Hs (mm)				0,86	-		
	Pêndulo Britânico - VRD				71,92	-		
	Medição de ATR (mm)				9,20	-		
	Permeabilidade *in situ* (cm/s)				-	-		
	Deflexão máxima - VB (0,01 mm)				-4133,33	-		

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se IP ≤ LL -30, será A-7-5; Se IP > LL - 30, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

a = p - 35	(se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35)	a varia de 0 a 40 e *0,2* . a varia de 0 a 8.
b = p - 15	(se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15)	b varia de 0 a 40 e *0,01* . $b \cdot d$ varia de 0 a 8.
c = LL - 40	(se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40)	c varia de 0 a 20 e *0,005* . $a \cdot c$ varia de 0 a 4.
d = IP - 10	(se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10)	d varia de 0 a 20 e *0,01* . b . d varia de 0 a 8.

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	0	15
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	0	15
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

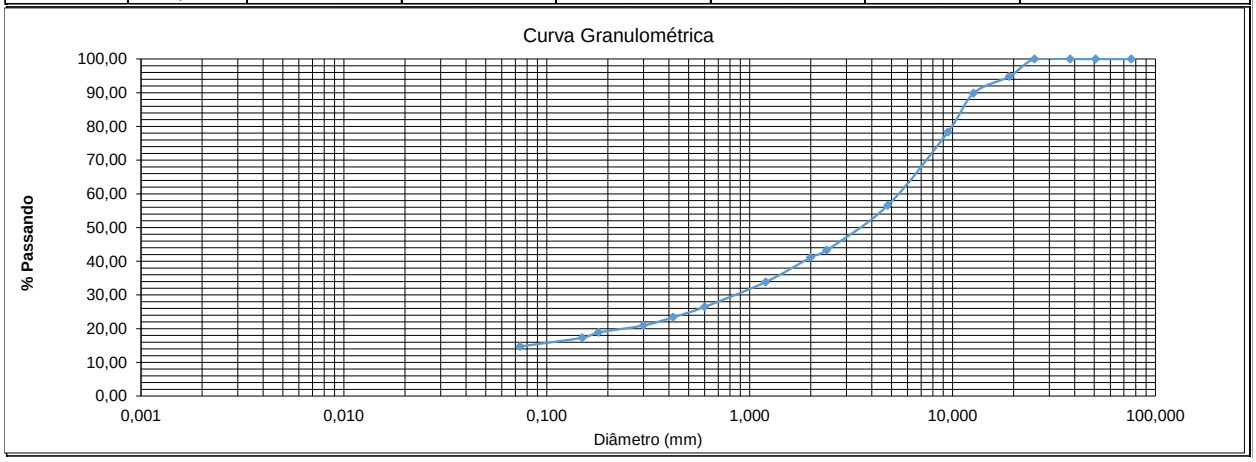
Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS		VERSÃO	00
	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES	DATA	27/11/2015
	NORMA DNER-ME 054/97	DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
37	UA06		407,65		Cascalho Lat.		Base	Guilherme

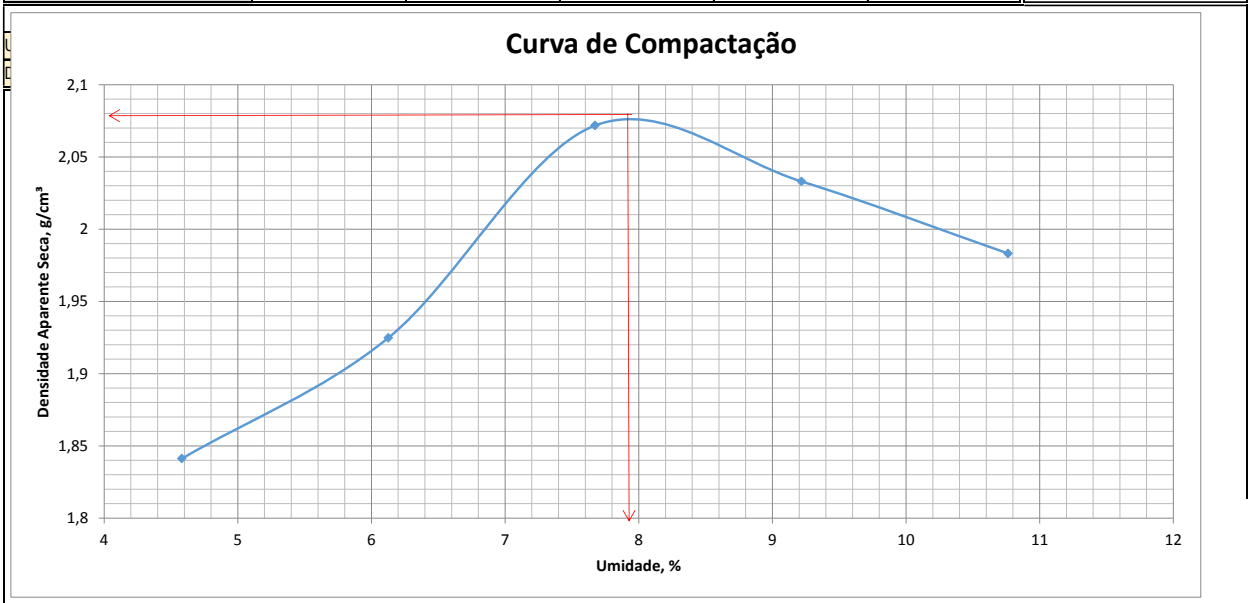
Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	58	60	Pedregulho: acima 4,8 mm	43,41
Recipiente nº	Retido nº10	1177,20	C + S + A (g)	66,4	70,1	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	15,46
6	Passando nº 10 úmida	822,80	C + S (g)	64,3	67,8	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	17,73
Retido nº 10	Peso da água	0,37	A = Água (g)	2,1	2,3	Areia Fina: entre nº 40 e 200	8,66
	Passando nº10 seca	822,432	C = Cápsula (g)	16,4	17,4	Passando nº 200	14,73
Recipiente nº:	Amostra Total Seca	1999,63	S = Solo (g)	47,9	50,4	TOTAL	100,00
1	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	4,4%	4,6%	Retido: (nº 10 - nº 200)	26,40
	Amostra menor nº10 seca	199,91	Fator de Correção	0,9996			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	103,1		5,16	5,16	94,84
1/2 pol	12,70	100,0		5,00	10,16	89,84
3/8 pol	9,50	229,5		11,48	21,63	78,37
nº 4	4,80	435,4		21,77	43,41	56,59
nº 8	2,40	265,9		13,30	56,71	43,29
nº 10	2,00	43,3		2,17	58,87	41,13
nº 16	1,20	35,4	17,71	7,28	66,15	33,85
nº 30	0,60	35,9	17,96	7,39	73,54	26,46
nº 40	0,42	14,9	7,45	3,07	76,61	23,39
nº 50	0,30	11,9	5,95	2,45	79,05	20,95
nº 80	0,18	10,0	5,00	2,06	81,11	18,89
nº 100	0,15	7,7	3,85	1,58	82,70	17,30
nº 200	0,074	12,5	6,25	2,57	85,27	14,73



UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	**FORMULÁRIO**					**PAGINA Nº**		1/1
	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA DNIT 124/94					**VERSÃO**		00
						DATA		27/11/2015
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.001		
REGISTRO Nº	**TRECHO**	**Km**	**CAMADA**	**MATERIAL**	**PROF.(m)**	**DATA**		**Folha**
37	UA06	407+650	Base	Cascalho	-	01/02/2016		1
% RETIDO nº 4	**PROCTOR**	**ENERGIA**	**Solo Úmido (g)**	**Solo Seco (g)**	**Água**	**OPERADOR**		**FURO**
45,90%	Intermediário	26	**8.000,00**	7764,3	235,7	Gilson		-

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE											3,0		
	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											3,0	5,0	
C + S + A (g)											383,2	429,3	
C + S (g)											373,6	417,9	
A - ÁGUA (g)											9,6	11,4	
C - CÁPSULA (g)											51,1	48,5	
S - SOLO (g)											322,5	369,4	
UMIDADE (%)											3,0	3,1	
UMIDADE MÉDIA											FATOR DE CORREÇÃO		
UMID. ADOTADA (%)	4,58		6,13		7,67		9,22		10,76		0,9705		
UMIDADE CALCULADA (%)	4,58		6,13		7,67		9,22		10,76		Moldes		
DENS. APAR.SECA (g/cm³)	1,841		1,925		2,072		2,033		1,983		Nº	Peso	Volume
COMPACTAÇÃO											16	5555	2060
CILINDRO Nº	9		11		8		16		3		8	5495	2049
ÁGUA ADICIONADA (ml)	120		240		360		480		600		11	5535	2066
ÁGUA ADICIONADA (%)	1,5		3		4,5		6		7,5		3	5530	2058
M + S + A (g)	9440		9755		10065		10130		10050		9	5490	2051
M - MOLDE (g)	5490		5535		5495		5555		5530		**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
S + A (g)	3950		4220		4570		4575		4520		7,9		
VOL. CILINDRO (cm³)	2051		2066		2049		2060		2058		**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	1,93		2,04		2,23		2,22		2,20		2,08		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94	VERSÃO	00
		DATA	
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.004	

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
37	Cascalho Lat.		UA06	407+650	INT.	015-0,4	Gilson

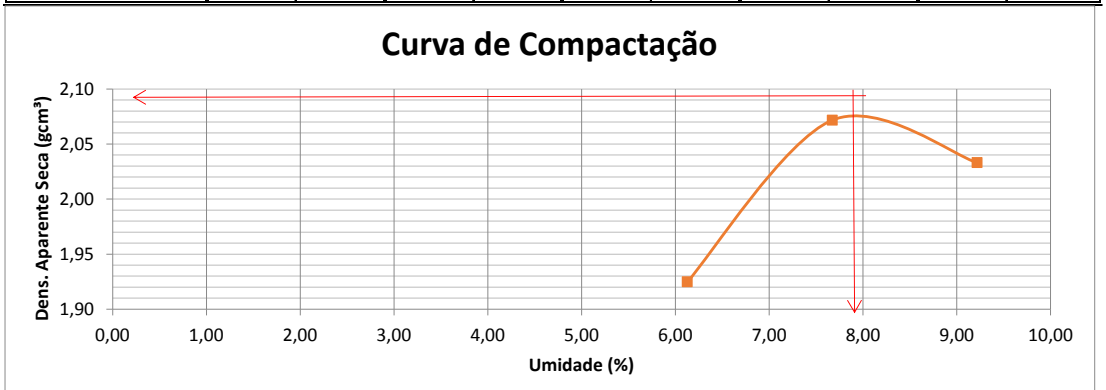
Cilindro nº			11		16		8			
Alturas dos CP´s			113,40		113,40		113,80			

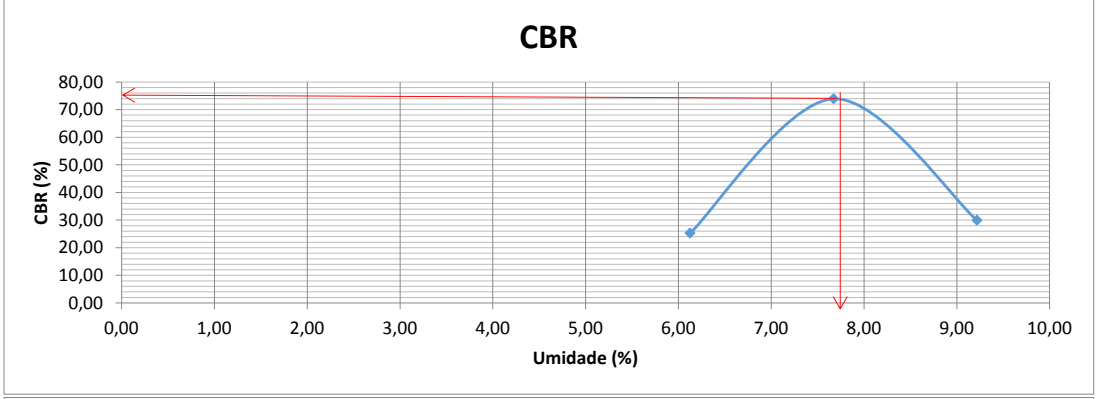
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
01/02/12	18:00			2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00		
	18:00			2,21	0,00	2,01	0,00	2,05	0,00		
				2,22	0,00	2,02	0,00	2,05	0,00		
				2,22	0,00	2,03	0,00	2,06	0,00		
				2,23	0,00	2,04	0,00	2,07	0,00		
Expansão Final (%)				0,00		0,00					

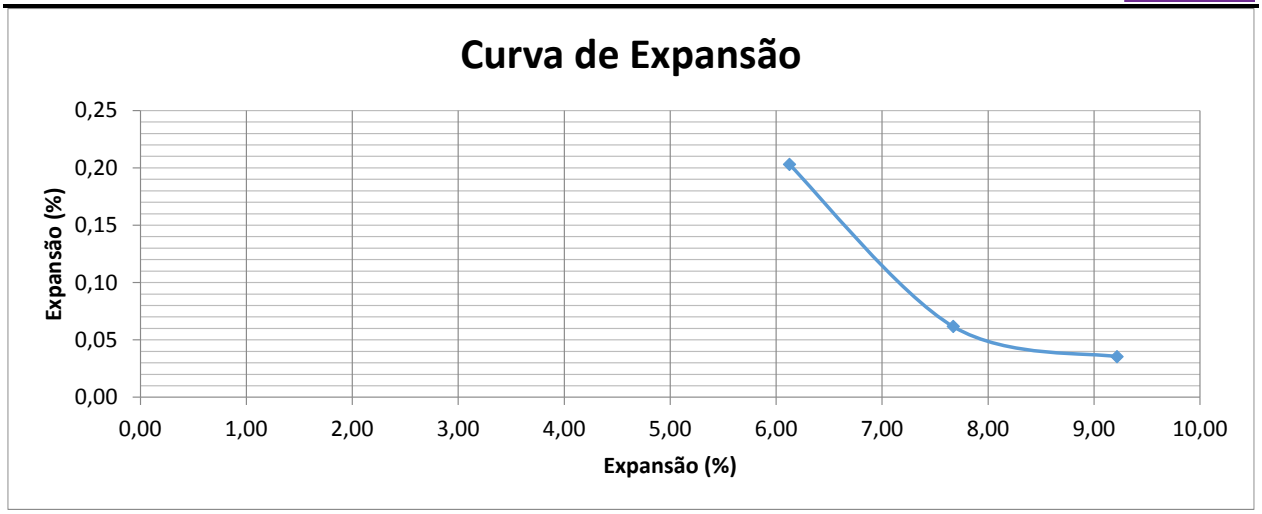
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

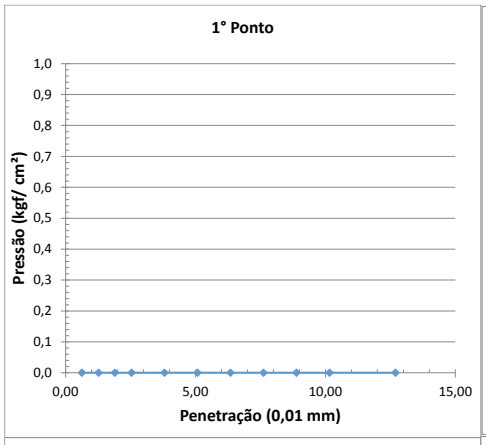
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel		0,0967		
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63			75	7,3	60	5,8	175	16,9		
1	1,27			123	11,9	94	9,1	303	29,3		
1,5	1,90			161	15,6	128	12,4	422	40,8		
2	2,54			184	17,8	164	15,9	536	51,8		
3	3,81			217	21,0	239	23,1	707	68,3		
4	5,08			258	24,9	326	31,5	807	78,0		
5	6,35			281	27,2	399	38,6	909	87,9		
6	7,62			320	30,9	486	47,0	990	95,7		
7	8,89			344	33,3	546	52,8	1071	103,5		
8	10,16			360	34,8	628	60,7	1102	106,5		
10	12,70			397	38,4	760	73,5	1210	117,0		

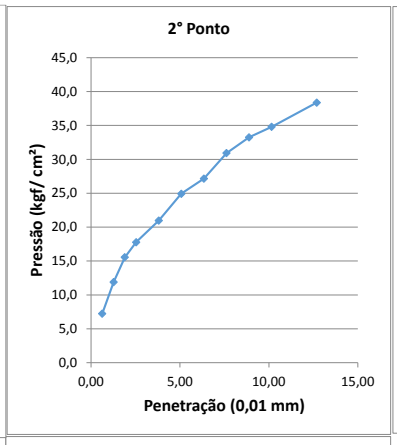
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm				25,3		22,5		73,6		
I.S.C. 5,08 mm				23,6		29,9		73,9		

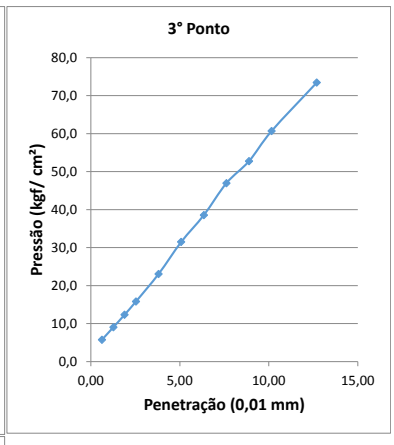


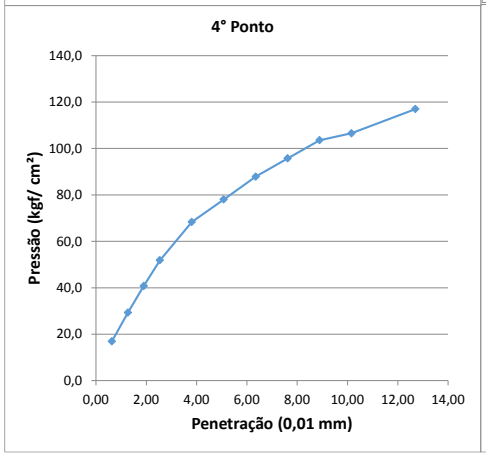


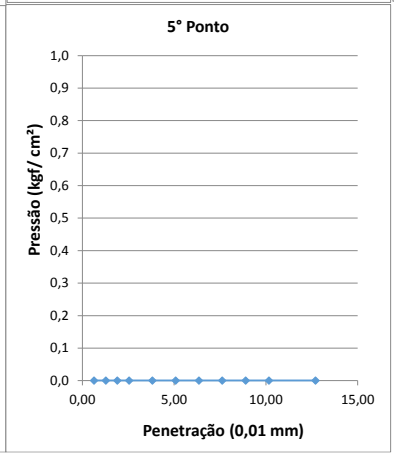

Curva de Expansão
Expansão (%)
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Expansão (%)


1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)

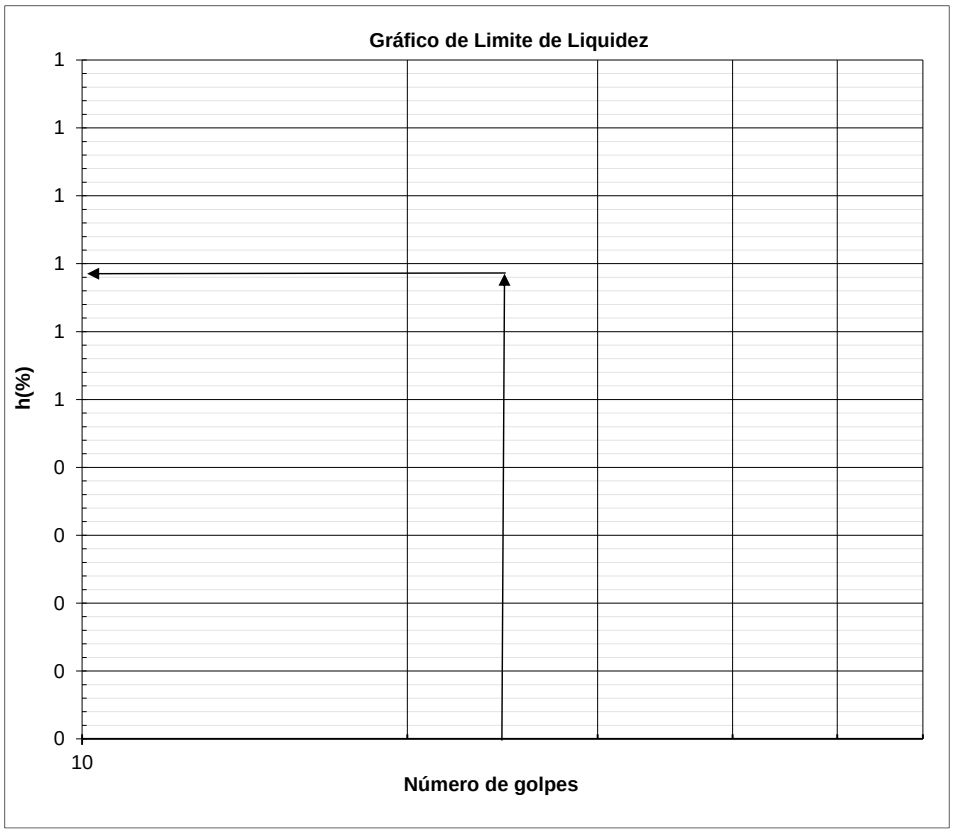

3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)


4° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)


5° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
37	**407+650**	**SUL**			**UA06**		**GUILHERME**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)			NL					
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Nº de golpes								
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)			NP					
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)		
Limite de Plasticidade (LP)		
Índice de Plasticidade (IP)		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DENSIDADE "*in situ*"	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.XXX

NORMA DNER 092/94

DATA:	**15/02/2016**	**KM INICIAL:**	**407+650**	**KM FINAL:**	
SENTIDO:	**SUL**	**FAIXA:**	**BASE**	**OPERADOR:**	**GILSON**

1. Peso Frasco Antes	7000			
2. Peso Frasco Depois	4820			
3. Peso Areia Deslocada	2180			
4. Peso Areia no Cone*	488	488	488	
5. Peso Areia no Furo	1692			
6. Densidade da areia (g/cm³) *	1,414	1414	1414	
7. Volume do Furo (cm³) - 5/6	1196,605			

* DADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO

UMIDADES - h	CAMPO		LABORATÓRIO			CAMPO			LABORATÓRIO		
Cápsula Nº.	56	68									
Cáp. + Solo + Água (g)	114,37	126,21									
Cápsula + Solo (g)	109,1	120,2									
Cápsula (g)	18,27	16,87									
Água (g)	5,27	6,01									
Solo Seco (g)	90,83	103,33									
Umidade %	5,8	5,8									
8. Umidade Média %	5,8										
Furo Nº.											
9. Peso Total do Material do Furo (g)	2680,000										
10. Densidade Úmida (g/cm³) - 9/7	2,240										
11. Dens. Apar. Solo Seco (g/cm³) - 10/8	2,117										
Profundidade do Furo (cm)											
Camada	Base		Sub-base			subleito					
Data:											

CONFRONTO DOS RESULTADOS

Densidade Aparente Máxima	2,081		
Densidade do Campo	2,117		
Umidade Ótima	7,9		
Umidade de Campo	5,8		
Grau de Compactação	101,7155931		

OBSERVAÇÕES:

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO MANCHA DE AREIA	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA RT 03-25

PISTA:	BR 040											
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**L6**	**Volume areia (mm³)**	**Diâmetro Médio Ds (mm)**	**Altura média Hs (mm)**	**OBS**
UA06 +0m	BD	Norte	251	205	235	232	216		25000	227,8	0,61	
UA06 +20m	Eixo	Norte	190	180	170	165	165		25000	174	1,05	
UA06 +40m	BD	Norte	194	199	190	202	196		25000	196,2	0,83	
UA6 +60m	BE	Norte	115	200	190	210	199		25000	182,8	0,95	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.	

NORMA HD 15/87 e HD 36/87

PISTA:	BR 040								
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**Média**	**OBS.:**
UA 6 +0 m	Direito	Norte	56	56	59	70	75	63,2	42°C
UA 6 +20 m	Esquerdo	Norte	75	77	59	70	69	70,0	43°C
UA 6 +40 m	Direito	Norte	86	72	70	80	80	77,6	43°C
UA 6 +60 m	Esquerdo	Norte	85	80	74	60	77	75,2	43°C
UA 6 +80 m	Direito	Norte	70	66	82	70	80	73,6	43°C

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº		1/1
	ENSAIO TRELIÇA	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA DNIT 006/2003-PRO

PISTA:

Data	KM	Bordo	Sentido	Leitura (mm)	OBS.:
15/02/2016	UA 06	Direito	Norte	10	
15/02/2016	Ua 06 +20m	Esquerdo	Norte	12	
15/02/2016	Ua 06 +20m	Direito	Norte	8	
15/02/2016	Ua 06 +20m	Esquerdo	Norte	9	
15/02/2016	Ua 06 +20m	Direito	Norte	7	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
	ENSAIO DE DEFLEXÃO NORMA DNIT 133/2010 - ME	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.013	

DATA:	18/fev	KM INICIAL	407+550/MG	SENTIDO:	SUL	K VIGA	2
FAIXA:	1	KM FINAL	407+750/MG	OPERADOR:		GILSON	

CÁLCULO DA BACIA DE DEFLEXÃO

UA 06 - 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,16	0,26	52,000	
		Deflexão (0,01mm)	52,0	52,0	48,0	46,0	44,0	42,0	42,0	20,0	0,0		50,000
UA 06 - 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0,03	0,12	0,18	0,23	0,19	0,15	0,1	0,24	48,000	
		Deflexão (0,01 mm)	48,0	42,0	24,0	12,0	2,0	10,0	18,0	28,0	0,0		
UA 06	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,05	0,06	0,12	0,16	0,17	0,2	0,18	0,22	44,000	
		Deflexão (0,01mm)	44,0	34,0	32,0	20,0	12,0	10,0	4,0	8,0	0,0		46,000
UA 06	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (0,01 mm)	0	0,04	0	0,06	0,1	0,14	0,16	0,19	0,24	48,000	
		Deflexão (mm)	48,0	40,0	48,0	36,0	28,0	20,0	16,0	10,0	0,0		
UA 06 + 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,05	0,08	0,13	0,17	0,19	0,2	0,23	0,23	46,000	
		Deflexão (0,01mm)	46,0	36,0	30,0	20,0	12,0	8,0	6,0	0,0	0,0		28,000
UA 06 + 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0,04	0,11	0,15	0,19	0,21	0,21	0,15	0,05	10,000	
		Deflexão (0,01mm)	10,0	2,0	-12,0	-20,0	-28,0	-32,0	-32,0	-20,0	0,0		

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
VIA 040 — UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
43	Casc. Arenoso	Base	UA01			-	-	Guilherme

PERMEÂMETRO Nº.	2		Corpo de Prova Nº.		
Constante do Ensaio	2,08	2,3.(a.L)/A	Comprimento (cm)	L =	12,7
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	Área (cm²)	A =	78,54
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	Diâmetro (cm)	f =	10
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	Peso (g)	Ph =	2301
Volume do Corpo de Prova (cm³)	997,46	V = L.A	OBS.:		
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	2290	gh = Ph/v			
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	2116	gs = gh/(1+h)			
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1			
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})			

TEOR DE UMIDADE							Molde	Nº.	
	ANTES			DEPOIS			Diâmetro (cm)	Φ=	10
Cápsula Nº.	54	58					Área (cm²)	A =	78,54
Solo Úmido + Tara (g)	99,98	103,64					Bureta	Nº.	1
Solo Seco + Tara (g)	93,9	97,04					Diâmetro (cm)	Φ =	2,67
Tara (g)	19,7	16,44					Área (cm²)	a =	5,60
Solo Seco (g)	74,2	80,6					K_T = 3,47E-04		K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)
Água (g)	6,08	6,6							
Umidade - h	8,2%	8,2%					K_{20} = 3,39E-04		K_{20} = C_K.K_T
Média	8,2%								

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (ºC)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
10:30	122,85	80 - 70	193	183	1,0546448	0,0231062	3,92E-04	21	0,975	3,82E-04
	139,94	70 - 60	183	173	1,0578035	0,024405	3,63E-04	21	0,975	3,54E-04
	156,21	60 - 50	173	163	1,0613497	0,0258585	3,45E-04	21	0,975	3,36E-04
	177,05	50 - 40	163	153	1,0653595	0,0274962	3,23E-04	21	0,975	3,15E-04
	194,55	40 - 30	153	143	1,0699301	0,0293554	3,14E-04	21	0,975	3,06E-04

Obs.:

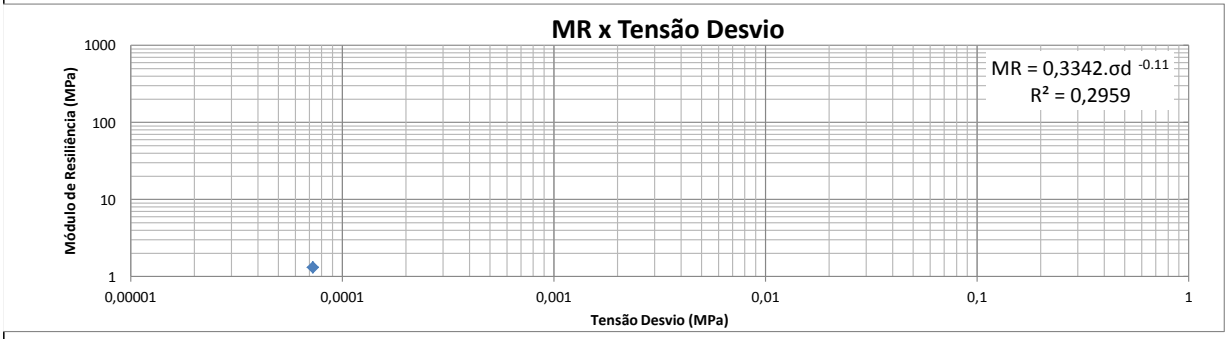
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	FORMULÁRIO		PAGINA Nº	1/1
	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS		VERSÃO	00
			DATA	06/04/2015
			DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

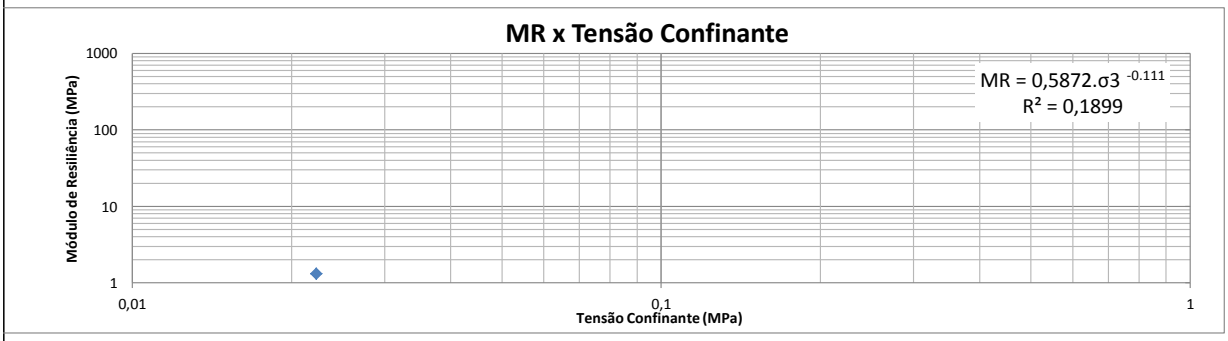
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
37			407+650 (UA06)	Base	Cascalho laterítico		07/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

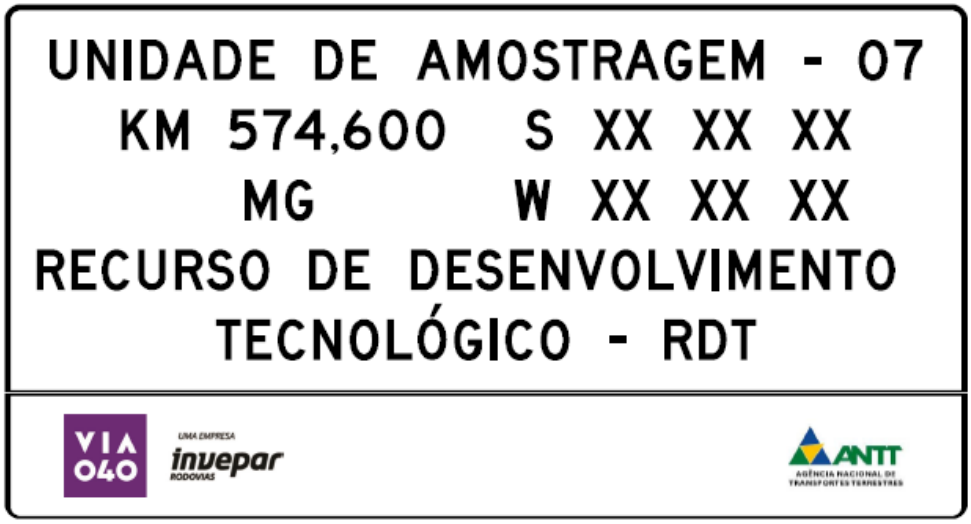
Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	100	94,84	89,84	78,37	56,59	41,13	33,85	26,46	23,39	20,95	17,3	14,73
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-1-a	7,9		2		29,86		0,06			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02226	0,00007	7,53%	99,65%	5,50E-05	1,323
0,0689	0,2068		0,0414	0,02207	0,00014	6,61%	99,66%	1,50E-04	0,934
0,1029	0,3090		0,0621	0,02194	0,00021	5,97%	99,67%	2,59E-04	0,799
		0,0345	0,0345	0,03483	0,00012	0,95%	99,66%	1,19E-04	0,980
			0,0689	0,03499	0,00023	1,42%	99,67%	2,89E-04	0,795
			0,1029	0,03521	0,00034	2,06%	99,67%	4,86E-04	0,707
		0,0504	0,0504	0,05074	0,00017	0,68%	99,67%	1,99E-04	0,844
			0,1029	0,05091	0,00035	1,01%	99,66%	4,81E-04	0,717
			0,1552	0,05101	0,00052	1,21%	99,66%	7,50E-04	0,695
		0,068	0,0689	0,06917	0,00023	1,72%	99,67%	2,98E-04	0,770
			0,1379	0,06921	0,00046	1,78%	99,67%	6,66E-04	0,693
			0,2068	0,06915	0,00069	1,69%	99,66%	9,57E-04	0,726
		0,1029	0,1029	0,10287	0,00034	0,03%	99,67%	4,81E-04	0,714
			0,2068	0,10292	0,00069	0,01%	99,66%	9,44E-04	0,734
			0,309	0,10291	0,00103	0,01%	99,67%	1,25E-03	0,828
		0,1379	0,1379	0,13793	0,00046	0,02%	99,67%	6,45E-04	0,715
			0,2747	0,13788	0,00092	0,01%	99,67%	1,14E-03	0,803
			0,412	0,13791	0,00137	0,01%	99,67%	1,50E-03	0,911





Observação:


UNIDADE DE AMOSTRAGEM - 07
KM 574,600 S XX XX XX
MG W XX XX XX
RECURSO DE DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO - RDT
VIA 040
UMA EMPRESA
invepar
RODOVIAS
ANTT
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS - VIA 040								
CAMPANHA DE CAMPO 01 - JANEIRO/FEVEREIRO - 2016								
QUADRO RESUMO								
UA 07		km 574 + 600/ MG			Camada			
					CA	Base	Sub-Base	Subleito
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Caracterização	Granulometria	% passando	3 "	-	100,00	CAMADA NÃO COLETADA	CAMADA NÃO COLETADA
				2 "	-	100,00		
				1 1/2 "	-	100,00		
				1 "	-	100,00		
				3/4 "	-	96,51		
				1/2 "	-	93,35		
				3/8 "	-	88,30		
				nº 4	-	71,32		
				nº 8	-	53,24		
				nº 10	-	50,07		
				nº 16	-	42,10		
				nº 30	-	36,43		
				nº 40	-	34,05		
				nº 50	-	32,09		
				nº 80	-	29,53		
				nº 100	-	28,03		
				nº 200	-	23,33		
		Espesura da camada (cm)			15,00	16,00		
		Material			CBUQ	Canga de Minério		
		L.L.			-	NL		
		L.P.			-	NP		
		I.P.			-	0		
		I.G.			-	0		
		Classificação H.R.B.			-	A-1-b		
	Compactação	Dens. seca máx (g/cm³)			-	3,060		
		Umidade ótima (%)			-	6,00		
		CBR (%)			-	74,74		
		Expansão (%)			-	0,00		
	Módulo de Resiliência (Mpa)				-	-		
	Permeabilidade (cm/s)				-	3,39E-06		
ENSAIOS *IN SITU*	Umidade natural (%)				-	7,9	CAMADA NÃO COLETADA	CAMADA NÃO COLETADA
	Densidade úmida (g/cm³)				-	3,244		
	Dens. seca máx (g/cm³)				-	3,007		
	Grau de Compactação (%)				-	98,3%		
	DCP - mm/golpe				-	-		
	Mancha de Areia - Hs (mm)				0,78	-		
	Pêndulo Britânico - VRD				74,90	-		
	Medição de ATR (mm)				2,30	-		
	Permeabilidade *in situ* (cm/s)				-	-		
	Deflexão máxima - VB (0,01 mm)				-5000,00	-		

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se IP ≤ LL -30, será A-7-5; Se IP > LL - 30, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

a = p - 35	(se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35)	a varia de 0 a 40 e *0,2* . a varia de 0 a 8.
b = p - 15	(se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15)	b varia de 0 a 40 e *0,01* . $b \cdot d$ varia de 0 a 8.
c = LL - 40	(se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40)	c varia de 0 a 20 e *0,005* . $a \cdot c$ varia de 0 a 4.
d = IP - 10	(se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10)	d varia de 0 a 20 e *0,01* . b . d varia de 0 a 8.

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	8,328671	23,32867
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	0	15
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
	DATA	06/04/2015
	DOCUMENTO Nº	FO.RDT.XXX

REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
				Base			

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos	
LP (%)	
IP	
IG	
HRB	

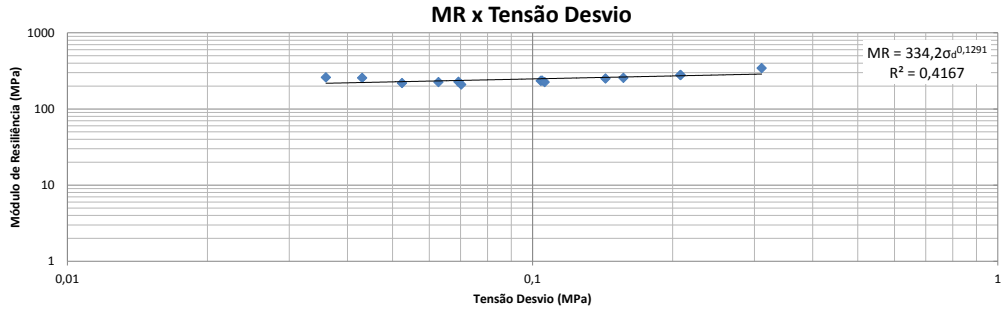
Granulometria (% passando)											
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200

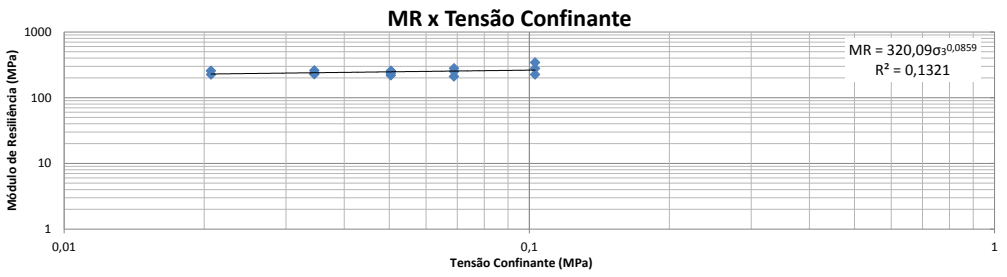
Compactação e CBR			
Úmidade ótima (%)	Dens. Máx seca(g/cm³)	CBR (%)	Expansão (%)

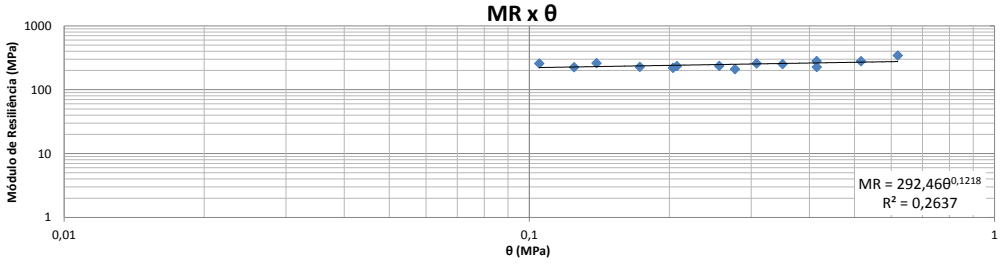
Características do Corpo de Prova			
Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes

Tensões de condicionamento	
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)
0,0689	0,0689
0,0689	0,2068
0,1029	0,3090

Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio (Média das 15 repetições por sequência)					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0207	0,0207	0,02071	0,02474	0,05%	19,54%	6,40E-05	388,345
	0,0414	0,02069	0,04304	0,04%	3,97%	1,68E-04	256,029
	0,0621	0,02071	0,06276	0,05%	1,06%	2,79E-04	224,787
0,0345	0,0345	0,03450	0,03596	0,01%	4,25%	1,38E-04	259,793
	0,0689	0,03452	0,06929	0,06%	0,57%	3,04E-04	227,582
	0,1029	0,03452	0,10414	0,07%	1,20%	4,45E-04	233,937
0,0504	0,0504	0,05041	0,05243	0,02%	4,02%	2,39E-04	219,111
	0,1029	0,05039	0,10488	0,02%	1,92%	4,46E-04	235,062
	0,1552	0,05043	0,15686	0,07%	1,07%	6,12E-04	256,127
0,068	0,0689	0,06886	0,07029	1,27%	2,02%	3,35E-04	209,553
	0,1379	0,06893	0,14356	1,37%	4,10%	5,74E-04	250,372
	0,2068	0,06891	0,20799	1,34%	0,58%	7,43E-04	279,960
0,1029	0,1029	0,10289	0,10619	0,01%	3,20%	4,72E-04	225,131
	0,2068	0,10294	0,20799	0,04%	0,58%	7,48E-04	278,150
	0,309	0,10293	0,31082	0,03%	0,59%	9,06E-04	343,152
0,1379	0,1379	0,13793	0,10489	0,02%	23,94%	5,64E-04	185,755
	0,2747	0,13786	0,14944	0,03%	45,60%	8,90E-03	70,989
	0,412						







Observação:

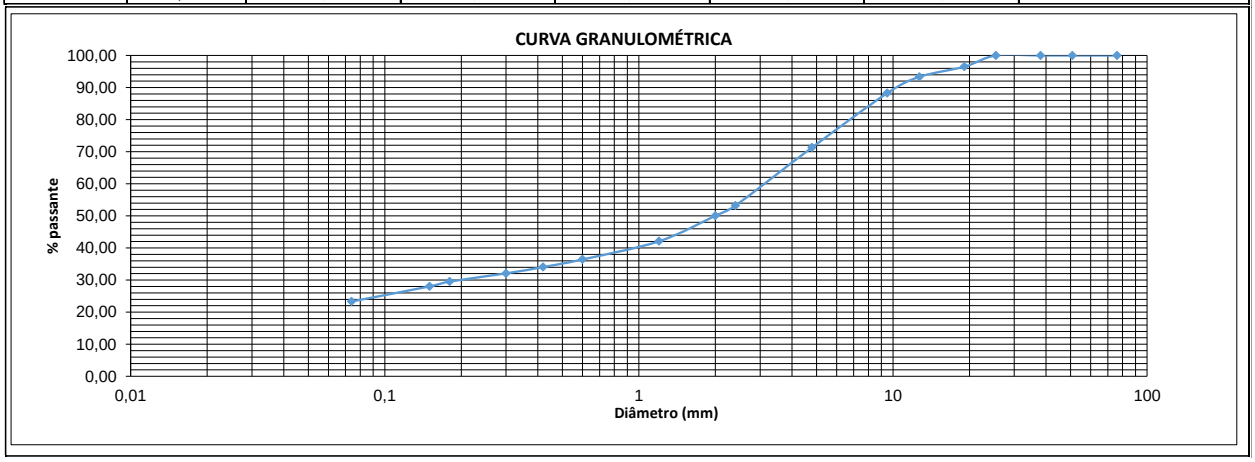
Por deformação excessiva do corpo de prova, o ensaio não chegou à última sequência de carregamento. Além disso, os valores de tensão que apresentaram desvio superior a 10 % não foram incluídos na análise para obtenção da equação.

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS		VERSÃO	00
	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.005	

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
36		MG	574+600	**UA07**	Canga de Minério		Base	Guilherme

Amostra menor nº 10		AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
		Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula n°	4	27	Pedregulho: acima 4,8 mm	28,68
Recipiente nº	4	Retido nº10	988,70	C + S + A (g)	87,1	94,2	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	21,26
		Passando nº 10 úmida	1011,30	C + S (g)	85,7	92,7	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	16,01
Retido nº 10		Peso da água	19,97	A = Água (g)	1,4	1,5	Areia Fina: entre nº 40 e 200	10,73
		Passando nº10 seca	991,33	C = Cápsula (g)	17,84	16,395	Passando nº 200	23,33
Recipiente nº:	1	Amostra Total Seca	1980,03	S = Solo (g)	67,86	76,305	TOTAL	100,00
		Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	2,06	1,97	Retido: (nº 10 - nº 200)	26,74
		Amostra menor nº10 seca	196,05	Fator de Correção	0,9803			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0,00		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	69,10		3,49	3,49	96,51
1/2 pol	12,70	62,60		3,16	6,65	93,35
3/8 pol	9,50	100,00		5,05	11,70	88,30
nº 4	4,80	336,10		16,97	28,68	71,32
nº 8	2,40	358,10		18,09	46,76	53,24
nº 10	2,00	62,80		3,17	49,93	50,07
nº 16	1,20	31,20	15,91	7,97	57,90	42,10
nº 30	0,60	22,20	11,32	5,67	63,57	36,43
nº 40	0,42	9,30	4,74	2,37	65,95	34,05
nº 50	0,30	7,70	3,93	1,97	67,91	32,09
nº 80	0,18	10,00	5,10	2,55	70,47	29,53
nº 100	0,15	5,90	3,01	1,51	71,97	28,03
nº 200	0,074	18,40	9,39	4,70	76,67	23,33



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.001

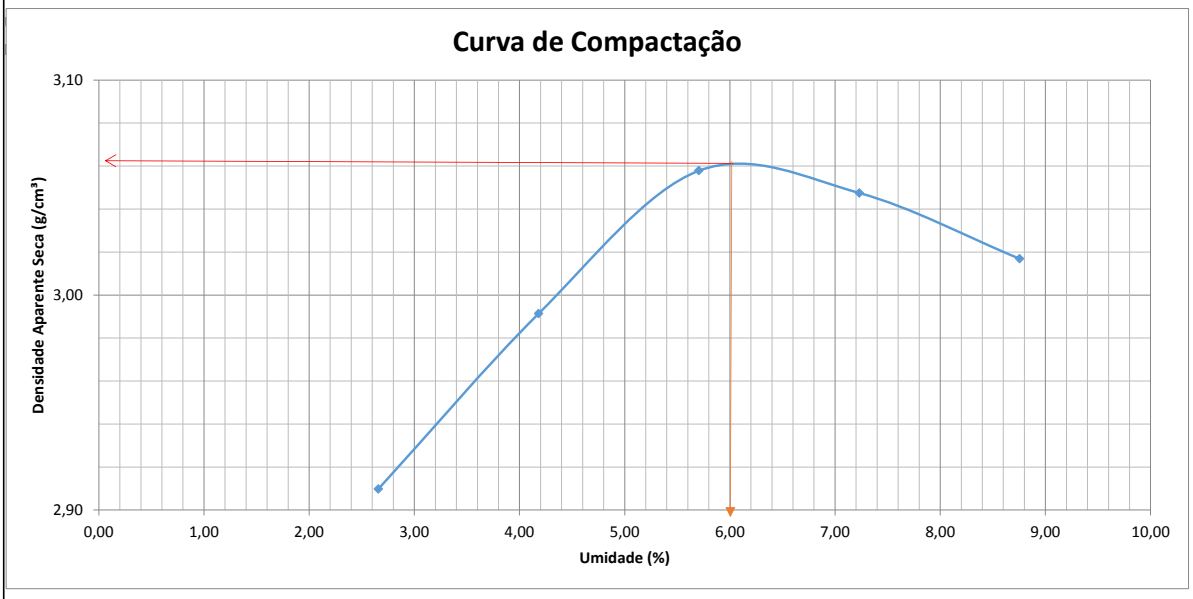
REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
36	UA07	574+600	Base	Canga de Minério	-	01/02/2016

% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
	Modificado	55	8.000,00	7870,8	129,2	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA N°											2	6	
C + S + A (g)											482,8	458,0	
C + S (g)											476,2	451,1	
A - ÁGUA (g)											6,6	6,9	
C - CÁPSULA (g)											51,2	52,0	
S - SOLO (g)											425,0	399,1	
UMIDADE (%)											1,6	1,7	
UMIDADE MÉDIA											1,6		
UMID. ADOTADA (%)	2,66		4,18		5,71		7,23		8,76		FATOR DE CORREÇÃO		
UMIDADE CALCULADA (%)	2,66		4,18		5,71		7,23		8,76		0,9839		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	2,910		2,991		3,058		3,047		3,017		Moldes		

COMPACTAÇÃO						N°	Peso	Volume
CILINDRO N°	2	14	7	13	5	7	5530	2050
ÁGUA ADICIONADA (ml)	80	200	320	440	560	13	5495	2098
ÁGUA ADICIONADA (%)	1	2,5	4	5,5	7	14	5270	2057
M + S + A (g)	11690	11680	12155	12350	12170	5	5510	2030
M - MOLDE (g)	5465	5270	5530	5495	5510	2	5465	2084
S + A (g)	6225	6410	6625	6855	6660	UMIDADE ÓTIMA (%)		
VOL. CILINDRO (cm³)	2084	2057	2050	2098	2030		6	
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,987	3,116	3,232	3,268	3,281	DENS. SECA MÁX. (g/cm³)		
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	2,958	3,040	3,108	3,097	3,066		3,060	



FORMULÁRIO

ENSAIO DE CBR

NORMA DNER-ME 049/94

PAGINA Nº	1/1
VERSÃO	00
DATA	
DOCUMENTO Nº	FO.RDT.004

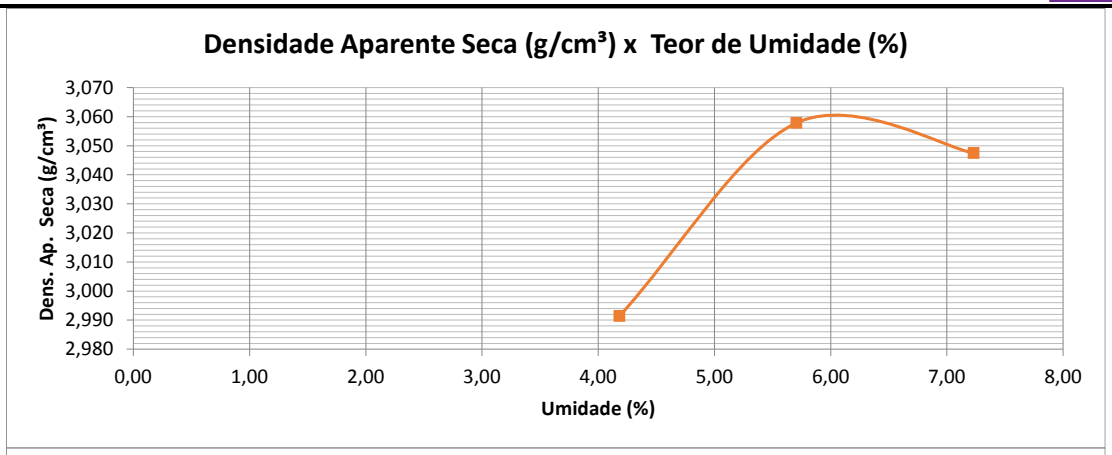
REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
36	CANGA DE MINERIO	BASE	UA07	574+600	55		GUILHERME

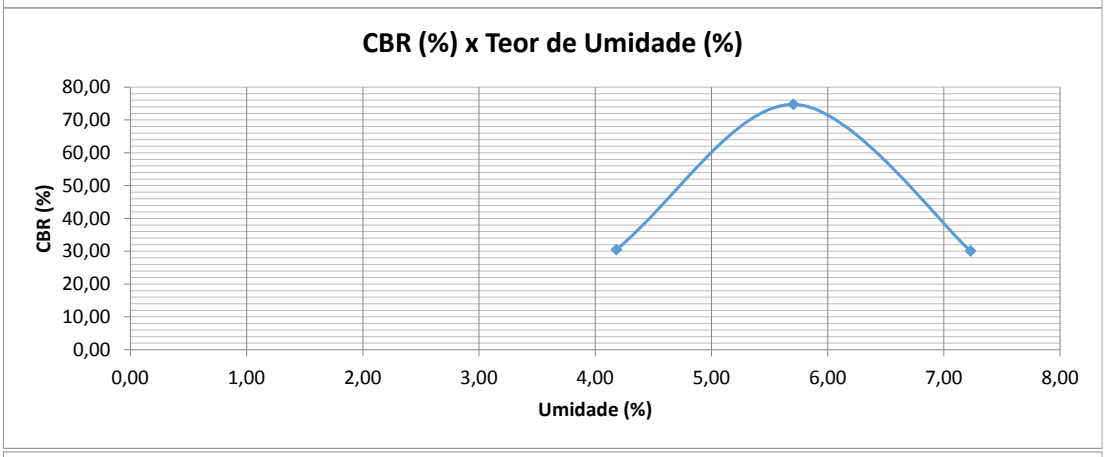
Cilindro nº		14		7		13						
Alturas dos CP´s		113,20		113,10		115,30						
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
01/02/16	12:00	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
02/02/16	12:00	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
03/02/16	12:00	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
04/02/16	12:00	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
05/02/16	12:00	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
Expansão Final (%)		0,00		0,00		0,00					

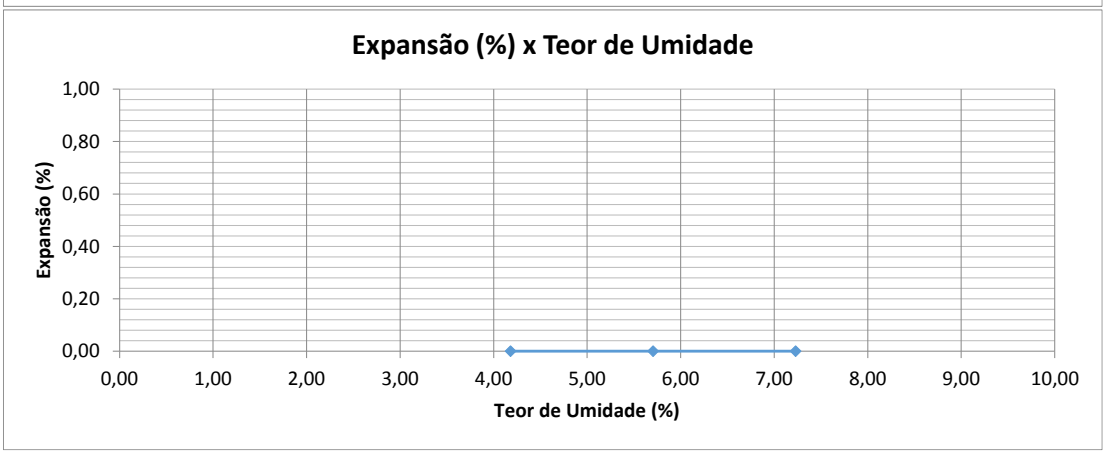
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

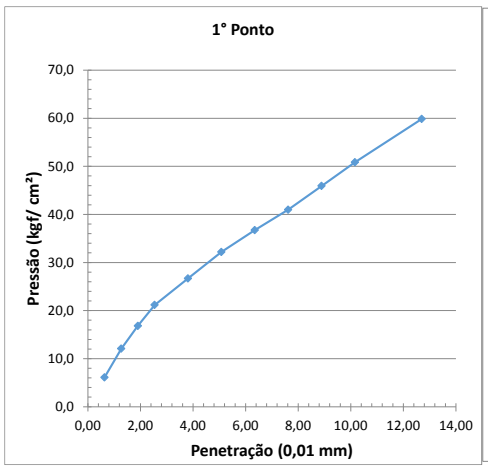
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel	0,0967			
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	63	6,1	152	14,7	37	3,6				
1	1,27	125	12,1	319	30,8	69	6,7				
1,5	1,90	174	16,8	435	42,1	115	11,1				
2	2,54	219	21,2	542	52,4	162	15,7				
3	3,81	276	26,7	696	67,3	236	22,8				
4	5,08	333	32,2	816	78,9	328	31,7				
5	6,35	380	36,7	896	86,6	436	42,1				
6	7,62	424	41,0	1026	99,2	543	52,5				
7	8,89	475	45,9	1190	115,0	615	59,5				
8	10,16	526	50,8	1270	122,8	720	69,6				
10	12,70	619	59,8	1350	130,5	922	89,1				

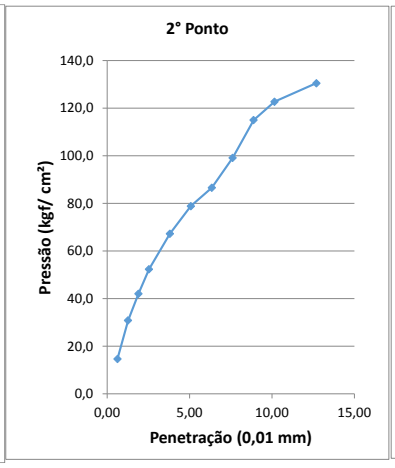
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		30,1		74,5		22,3				
I.S.C. 5,08 mm		30,5		74,7		30,0				

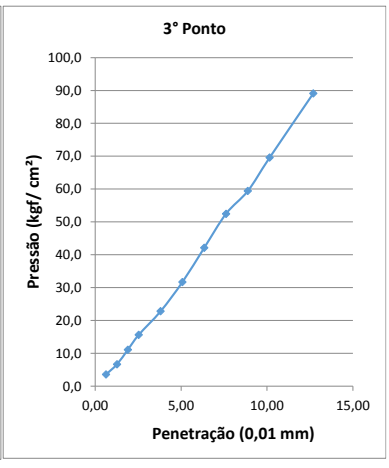

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
3,070
3,060
3,050
3,040
3,030
3,020
3,010
3,000
2,990
2,980
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
Umidade (%)


CBR (%) x Teor de Umidade (%)
CBR (%)
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade
Expansão (%)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Teor de Umidade (%)

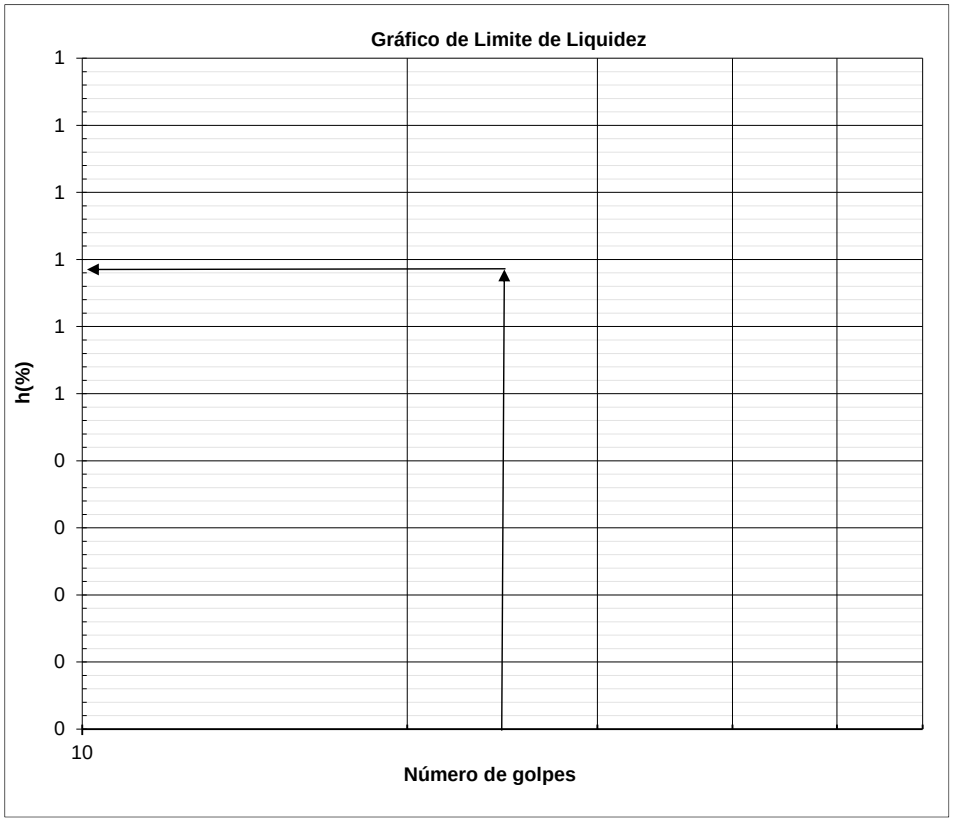

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
14,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
100,0
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
36	**574+600**				**UA07**		**Gilson**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)				NL				
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Nº de golpes								
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)				NP				
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)		
Limite de Plasticidade (LP)		
Índice de Plasticidade (IP)		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DENSIDADE "*in situ*"	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.XXX	

NORMA DNER 092/94

DATA:	**08/01/2016**	**KM INICIAL:**	**574+600**	**KM FINAL:**	
SENTIDO:	**UA07 SUL**	**FAIXA:**		**OPERADOR:**	**GILSON**

1. Peso Frasco Antes	7000			
2. Peso Frasco Depois	4250			
3. Peso Areia Deslocada	2750			
4. Peso Areia no Cone*	488			
5. Peso Areia no Furo	2262			
6. Densidade da areia (g/cm³) *	1,414			
7. Volume do Furo (cm³) - 5/6	1600			

* DADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO

UMIDADES - h	CAMPO		LABORATÓRIO			CAMPO			LABORATÓRIO		
Cápsula N°.	29	38									
Cáp. + Solo + Água (g)	124,77	120,32									
Cápsula + Solo (g)	116,8	112,9									
Cápsula (g)	17,24	17,39									
Água (g)	7,97	7,42									
Solo Seco (g)	99,57	95,51									
Umidade %	8,0	7,8									
8. Umidade Média %	7,9										
Furo N°.											
9. Peso Total do Material do Furo (g)	5190										
10. Densidade Úmida (g/cm³) - 9/7	3,24										
11. Dens. Apar. Solo Seco (g/cm³) - 10/8	3,01										
Profundidade do Furo (cm)	16										
Camada	Base		Sub-base			subleito					
Data:											

CONFRONTO DOS RESULTADOS

Densidade Aparente Máxima	3,061
Densidade do Campo	3,007
Umidade Ótima	6,00
Umidade de Campo	7,9
Grau de Compactação	98,24

OBSERVAÇÕES:

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO MANCHA DE AREIA	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.xxx	

NORMA RT 03-25

PISTA:	BR 040											
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**L6**	**Volume areia (mm³)**	**Diâmetro Médio Ds (mm)**	**Altura média Hs (mm)**	**OBS**
UA07 +0m	BE	Norte	200	212	210	240	210		25000	214,4	0,69	
UA07 +20m	BD	Norte	210	195	180	185	190		25000	192	0,86	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA HD 15/87 e HD 36/87

PISTA:	BR 040								
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**Média**	**OBS.:**
UA 7	Direito	Sul	73	70	71	70	66	70,0	39°C
UA 7 +20m	Esquerdo	Sul	73	85	85	74	82	79,8	39°C

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO TRELIÇA	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA DNIT 006/2003-PRO

PISTA:

Data	KM	Bordo	Sentido	Leitura (mm)	OBS.:
22/02/2016	UA 07	Direito	Sul	0	
22/02/2016	UA 07 +20m	Esquerdo	Sul	0	
22/02/2016	UA 07 +20m	Direito	Sul	0	
22/02/2016	UA 07 +20m	Esquerdo	Sul	0	
22/02/2016	UA 07 +20m	Direito	Sul	0	
22/02/2016	UA07 -40m	BD	Sul	2	
22/02/2016	UA07 -40m	BE	Sul	5	
22/02/2016	UA07 -20m	BD	Sul	5	
22/02/2016	UA07 -20m	BE	Sul	6	
22/02/2016	UA07 +20m	BD	Sul	5	
22/02/2016	UA07 +20m	BE	Sul	6	
22/02/2016	UA07 +40m	BD	Sul	2	
22/02/2016	UA07 +40m	BE	Sul	3	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DEFLEXÃO NORMA DNIT 133/2010 - ME	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.013	

DATA:	18/fev	KM INICIAL	97+550/GO	SENTIDO:	SUL	K VIGA	2
FAIXA:	1	KM FINAL	97+750/GO	OPERADOR:		GILSON	

CÁLCULO DA BACIA DE DEFLEXÃO

UA 07 - 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,02	0,1	0,14	0,16	0,19	0,2	0,25	0,22	44,000	
		Deflexão (0,01mm)	44,0	40,0	24,0	16,0	12,0	6,0	4,0	-6,0	0,0		50,000
UA 07 - 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0,05	0,08	0,12	0,2	0,24	0,28	0,36	0,28	56,000	
		Deflexão (0,01 mm)	56,0	46,0	40,0	32,0	16,0	8,0	0,0	-16,0	0,0		
UA 07	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,04	0,08	0,11	0,16	0,2	0,21	0,21	0,2	40,000	
		Deflexão (0,01mm)	40,0	32,0	24,0	18,0	8,0	0,0	-2,0	-2,0	0,0		50,000
UA 07	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (0,01 mm)	0	0,02	0,06	0,11	0,17	0,19	0,22	0,26	0,3	60,000	
		Deflexão (mm)	60,0	56,0	48,0	38,0	26,0	22,0	16,0	8,0	0,0		
UA 07 + 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,03	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,19	0,21	42,000	
		Deflexão (0,01mm)	42,0	36,0	32,0	32,0	32,0	30,0	34,0	4,0	0,0		50,000
UA 07 + 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0,04	0,09	0,14	0,17	0,21	0,23	0,28	0,29	58,000	
		Deflexão (0,01mm)	58,0	50,0	40,0	30,0	24,0	16,0	12,0	2,0	0,0		

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
VIA 040 — UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
36		Base	UA 07					Guilherme

PERMEÂMETRO Nº.	2		Corpo de Prova Nº.		5
Constante do Ensaio	2,08	2,3.(a.L)/A	Comprimento (cm)	L =	12,7
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	Area (cm²)	A =	78,54
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	Diâmetro (cm)	f =	10
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	Peso (g)	Ph =	3235
Volume do Corpo de Prova (cm³)	997,46	V = L.A	OBS.:		
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	3,24	gh = Ph/v			
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	3,06	gs = gh/(1+h)			
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1			
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})			

TEOR DE UMIDADE							Molde	Nº.	
	ANTES			DEPOIS			Diâmetro (cm)	Φ=	10
Cápsula Nº.	4	5		54	58		Área (cm²)	A =	78,54
Solo Úmido + Tara (g)	103,75	100,09		88,76	83,03		Bureta	Nº.	1
Solo Seco + Tara (g)	98,81	95,29					Diâmetro (cm)	Φ =	2,67
Tara (g)	17,84	16,62					Área (cm²)	a =	5,60
Solo Seco (g)	80,97	78,67					K_T = 3,74E-06		K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)
Água (g)	4,94	4,8							
Umidade - h	6,1%	6,1%					K_{20} = 3,39E-06		K_{20} = C_K.K_T
Média	6,1%								

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (°C)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
08:49	840	78,3	332	330,3	1,0051468	0,0022295	5,53E-06	19	1,025	5,67E-06
09:39	3000	73,4	330,3	325,4	1,0150584	0,006491	4,51E-06	19	0,867	3,91E-06
10:13	2040	71	325,4	323	1,0074303	0,003215	3,28E-06	26	0,867	2,85E-06
10:52	5940	68	323	320	1,009375	0,0040525	1,42E-06	26	0,867	1,23E-06
11:23	1860	65,4	320	317,4	1,0081916	0,0035431	3,97E-06	28	0,828	3,28435E-06

Obs.:

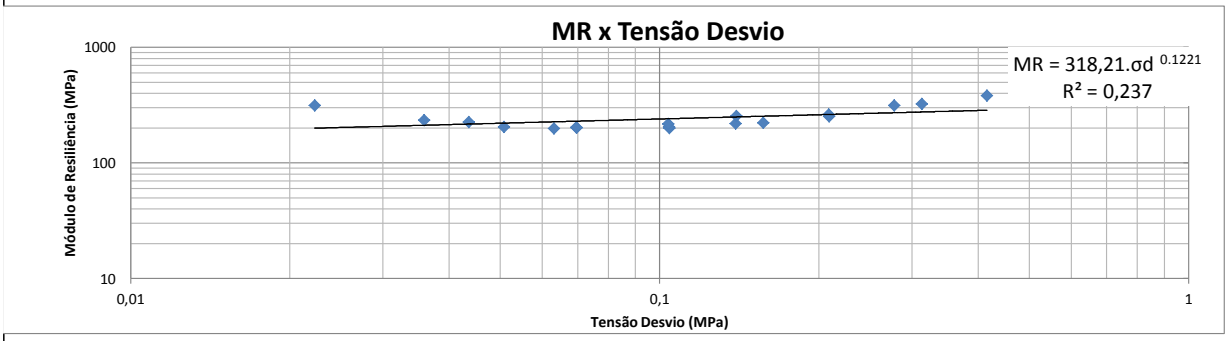
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

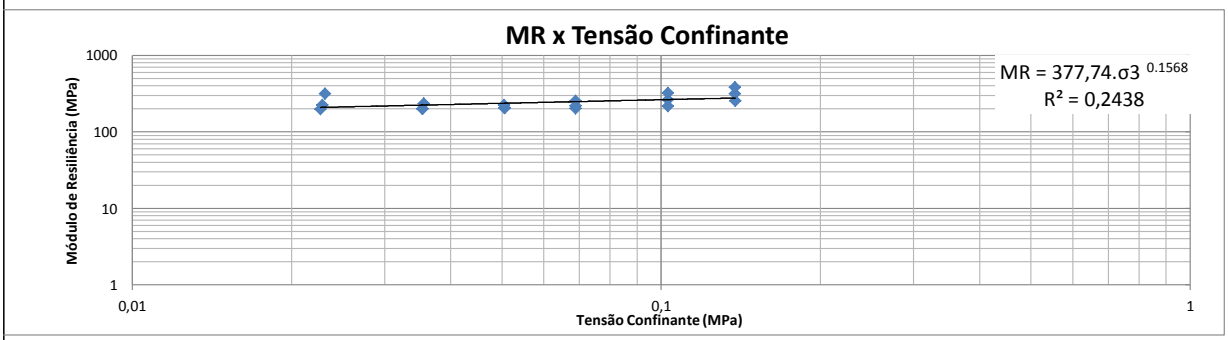
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
36			574+600 (UA07)	Base	Canga de minério		07/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

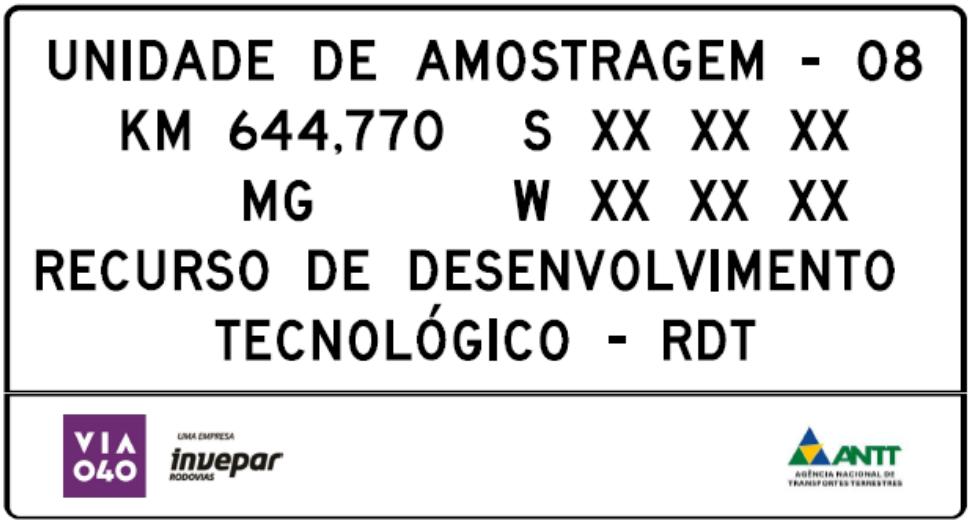
Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	100	96,51	93,35	88,3	71,32	50,07	42,1	36,43	34,05	32,09	28,03	23,33
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-1-b	6,00		3,06		74,74		0,00			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02315	0,02230	11,85%	7,74%	7,09E-05	314,679
0,0689	0,2068		0,0414	0,02289	0,04356	10,58%	5,22%	1,93E-04	225,630
0,1029	0,3090		0,0621	0,02267	0,06309	9,51%	1,59%	3,18E-04	198,252
		0,0345	0,0345	0,03555	0,03587	3,04%	3,98%	1,52E-04	235,509
			0,0689	0,03532	0,06972	2,37%	1,19%	3,46E-04	201,511
			0,1029	0,03538	0,10434	2,55%	1,40%	5,19E-04	200,954
		0,0504	0,0504	0,05064	0,05082	0,47%	0,84%	2,48E-04	204,717
			0,1029	0,05049	0,10411	0,19%	1,18%	5,07E-04	205,435
			0,1552	0,05045	0,15701	0,10%	1,17%	7,03E-04	223,494
		0,068	0,0689	0,06888	0,06955	1,29%	0,94%	3,43E-04	203,002
			0,1379	0,06890	0,13925	1,32%	0,98%	6,35E-04	219,271
			0,2068	0,06890	0,20927	1,32%	1,19%	8,26E-04	253,286
		0,1029	0,1029	0,10291	0,10385	0,01%	0,92%	4,78E-04	217,164
			0,2068	0,10290	0,20889	0,00%	1,01%	7,95E-04	262,633
			0,309	0,10290	0,31324	0,00%	1,37%	9,67E-04	323,794
		0,1379	0,1379	0,13791	0,13976	0,01%	1,35%	5,49E-04	254,791
			0,2747	0,13789	0,27770	0,01%	1,09%	8,79E-04	315,788
			0,412	0,13789	0,41565	0,01%	0,89%	1,08E-03	383,921





Observação:


UNIDADE DE AMOSTRAGEM - 08
KM 644,770 S XX XX XX
MG W XX XX XX
RECURSO DE DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO - RDT
VIA 040
UMA EMPRESA
invepar
RODOVIAS
ANTT
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS - VIA 040

CAMPANHA DE CAMPO 01 - JANEIRO/FEVEREIRO - 2016

QUADRO RESUMO

UA 08		Km 644+770/MG			Camada			
					CA	Base	Sub-Base	Subleito
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Caracterização	Granulometria	% passando	3 "	-	100,00	100,00	CAMADA NÃO COLETADA
				2 "	-	100,00	100,00	
				1 1/2 "	-	100,00	100,00	
				1 "	-	99,04	89,66	
				3/4 "	-	95,68	84,81	
				1/2 "	-	90,68	79,75	
				3/8 "	-	79,26	69,07	
				nº 4	-	50,93	57,08	
				nº 8	-	36,01	43,35	
				nº 10	-	34,02	41,25	
				nº 16	-	28,50	33,41	
				nº 30	-	21,83	26,89	
				nº 40	-	17,95	24,69	
				nº 50	-	14,44	23,03	
				nº 80	-	12,74	21,97	
				nº 100	-	9,08	20,70	
				nº 200	-	5,83	19,17	
		Espesura da camada (cm)			18,00	16,00	15,00	
		Material			CBUQ	Brita Graduada	Cascalho Arenoso	
		L.L.			-	NL	NL	
		L.P.			-	NP	NP	
		I.P.			-	0	0	
		I.G.			-	0	0	
		Classificação H.R.B.			-	A-1-a	A-1-b	
	Compactação	Dens. seca máx (g/cm³)			-	2,190	2,123	
		Umidade ótima (%)			-	7,20	6,80	
		CBR (%)			-	233,38	43,69	
		Expansão (%)			-	0,00	0,02	
	Módulo de Resiliência (Mpa)				-	-	-	
	Permeabilidade (cm/s)				-	0,30	7,65E-03	
ENSAIOS *IN SITU*	Umidade natural (%)				-	2,36	9,06	CAMADA NÃO COLETADA
	Densidade úmida (g/cm³)				-	2,255	2,194	
	Dens. seca máx (g/cm³)				-	2,203	2,012	
	Grau de Compactação (%)				-	100,6%	94,8%	
	DCP - mm/golpe				-	-	-	
	Mancha de Areia - Hs (mm)				0,56	-	-	
	Pêndulo Britânico - VRD				57,97	-	-	
	Medição de ATR (mm)				2,93	-	-	
	Permeabilidade *in situ* (cm/s)				-	-	-	
	Deflexão máxima - VB (0,01 mm)				-5266,67	-	-	

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se IP ≤ LL -30, será A-7-5; Se IP > LL - 30, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

a = p - 35	(se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35)	a varia de 0 a 40 e $0{,}2 \cdot a$ varia de 0 a 8.
b = p - 15	(se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15)	b varia de 0 a 40 e $0{,}01 \cdot b \cdot d$ varia de 0 a 8.
c = LL - 40	(se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40)	c varia de 0 a 20 e $0{,}005 \cdot a \cdot c$ varia de 0 a 4.
d = IP - 10	(se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10)	d varia de 0 a 20 e $0{,}01 \cdot b \cdot d$ varia de 0 a 8.

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	0	15
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	4	19
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

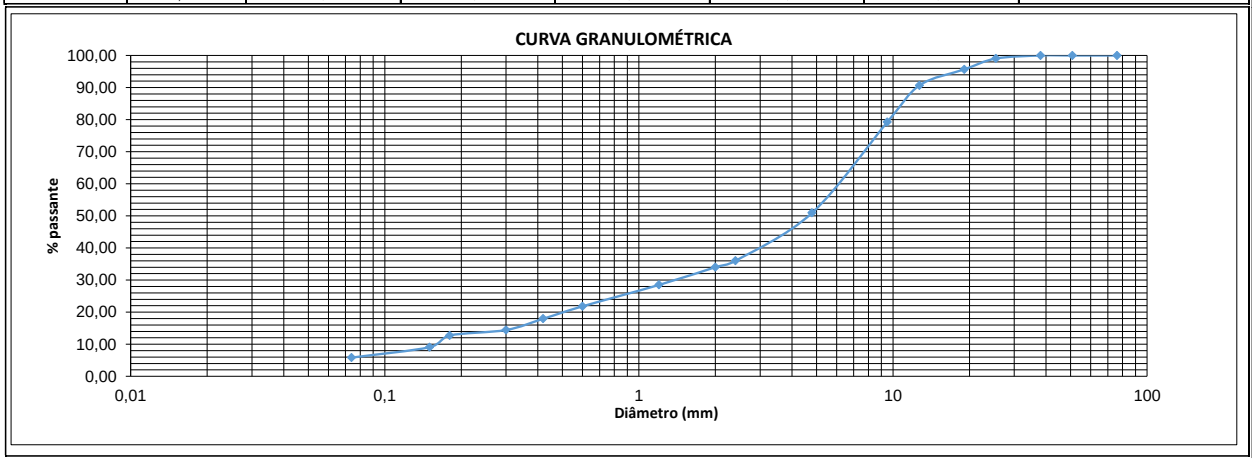
Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS		VERSÃO	00
	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
44			644+770	**UA08**	Brita Graduada		Base	Guilherme

Amostra menor nº 10		AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
		Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	2	49	Pedregulho: acima 4,8 mm	49,07
Recipiente nº	8	Retido nº10	1319,50	C + S + A (g)	83,24	93,03	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	16,91
		Passando nº 10 úmida	680,50	C + S (g)	83,15	92,93	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	16,08
Retido nº 10		Peso da água	0,01	A = Água (g)	0,09	0,1	Areia Fina: entre nº 40 e 200	12,11
		Passando nº10 seca	680,491	C = Cápsula (g)	16,523	18,879	Passando nº 200	5,83
Recipiente nº:	1	Amostra Total Seca	1999,99	S = Solo (g)	66,627	74,051	TOTAL	100,00
		Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	0,00	0,00	Retido: (nº 10 - nº 200)	28,19
		Amostra menor nº10 seca	200,00	Fator de Correção	1,0000			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	19,10		0,96	0,96	99,04
3/4 pol	19,10	67,30		3,37	4,32	95,68
1/2 pol	12,70	100,00		5,00	9,32	90,68
3/8 pol	9,50	228,30		11,42	20,74	79,26
nº 4	4,80	566,70		28,34	49,07	50,93
nº 8	2,40	298,30		14,92	63,99	36,01
nº 10	2,00	39,80		1,99	65,98	34,02
nº 16	1,20	32,50	16,25	5,53	71,50	28,50
nº 30	0,60	39,20	19,60	6,67	78,17	21,83
nº 40	0,42	22,80	11,40	3,88	82,05	17,95
nº 50	0,30	20,60	10,30	3,50	85,56	14,44
nº 80	0,18	10,00	5,00	1,70	87,26	12,74
nº 100	0,15	21,50	10,75	3,66	90,92	9,08
nº 200	0,074	19,10	9,55	3,25	94,17	5,83



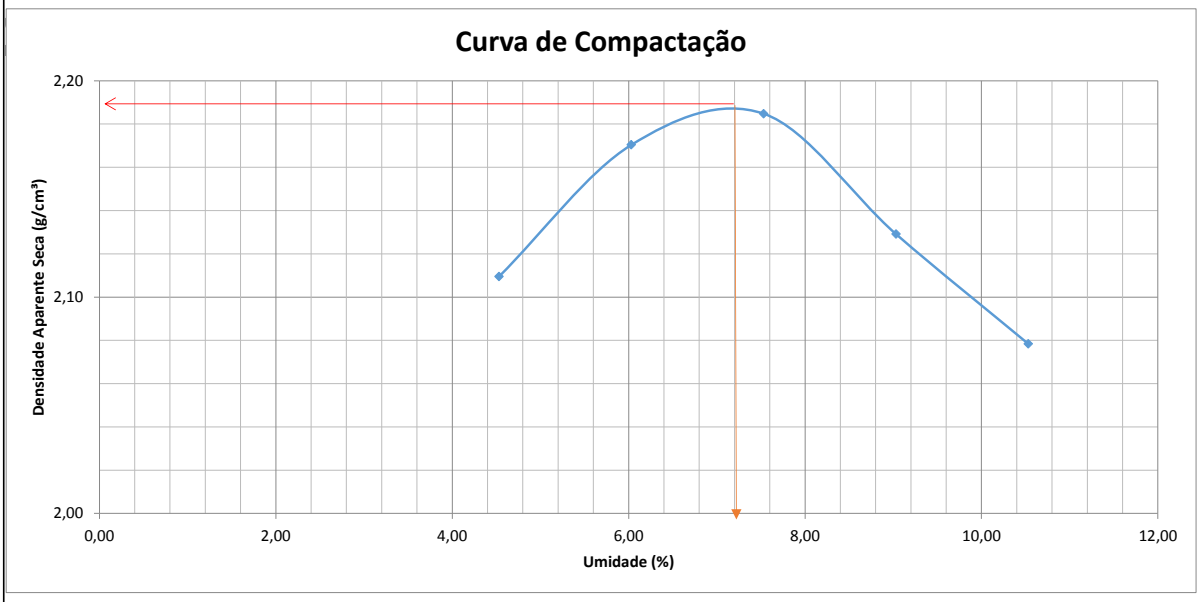
	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
VIA 040 UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.001

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
44	UA08	644+770	Base	Brita Graduada	-	07/03/2016

% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
	Modificado	55	**8.000,00**	7997,7	2,3	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											3	4	
C + S + A (g)											192,05	216,93	
C + S (g)											192,01	216,88	
A - ÁGUA (g)											0,0	0,1	
C - CÁPSULA (g)											51,09	49,26	
S - SOLO (g)											140,9	167,6	
UMIDADE (%)											0,0	0,0	
UMIDADE MÉDIA											0,0		
UMID. ADOTADA (%)	4,53		6,03		7,53		9,03		10,53		FATOR DE CORREÇÃO		
UMIDADE CALCULADA (%)	4,53		6,03		7,53		9,03		10,53		0,9997		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	2,110		2,170		2,185		2,129		2,078		Moldes		
COMPACTAÇÃO											N°	Peso	Volume
CILINDRO Nº	5		20		10		19		1		2	5465	2084
ÁGUA ADICIONADA (ml)	360		480		600		720		840		8	5495	2049
ÁGUA ADICIONADA (%)	4,5		6		7,5		9		10,5		16	5555	2060
M + S + A (g)	9986		10335		10360		10245		10360		18	5525	2043
M - MOLDE (g)	5510		5610		5530		5485		5560		15	5460	2048
S + A (g)	4476		4725		4830		4760		4800		UMIDADE ÓTIMA (%)		
VOL. CILINDRO (cm³)	2030		2053		2056		2050		2089		7,2		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,205		2,301		2,349		2,321		2,297		DENS. SECA MÁX. (g/cm³)		
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	2,110		2,171		2,185		2,130		2,079		2,190		



FORMULÁRIO

ENSAIO DE CBR

NORMA DNER-ME 049/94

PAGINA Nº	1/1
VERSÃO	00
DATA	
DOCUMENTO Nº	FO.RDT.004

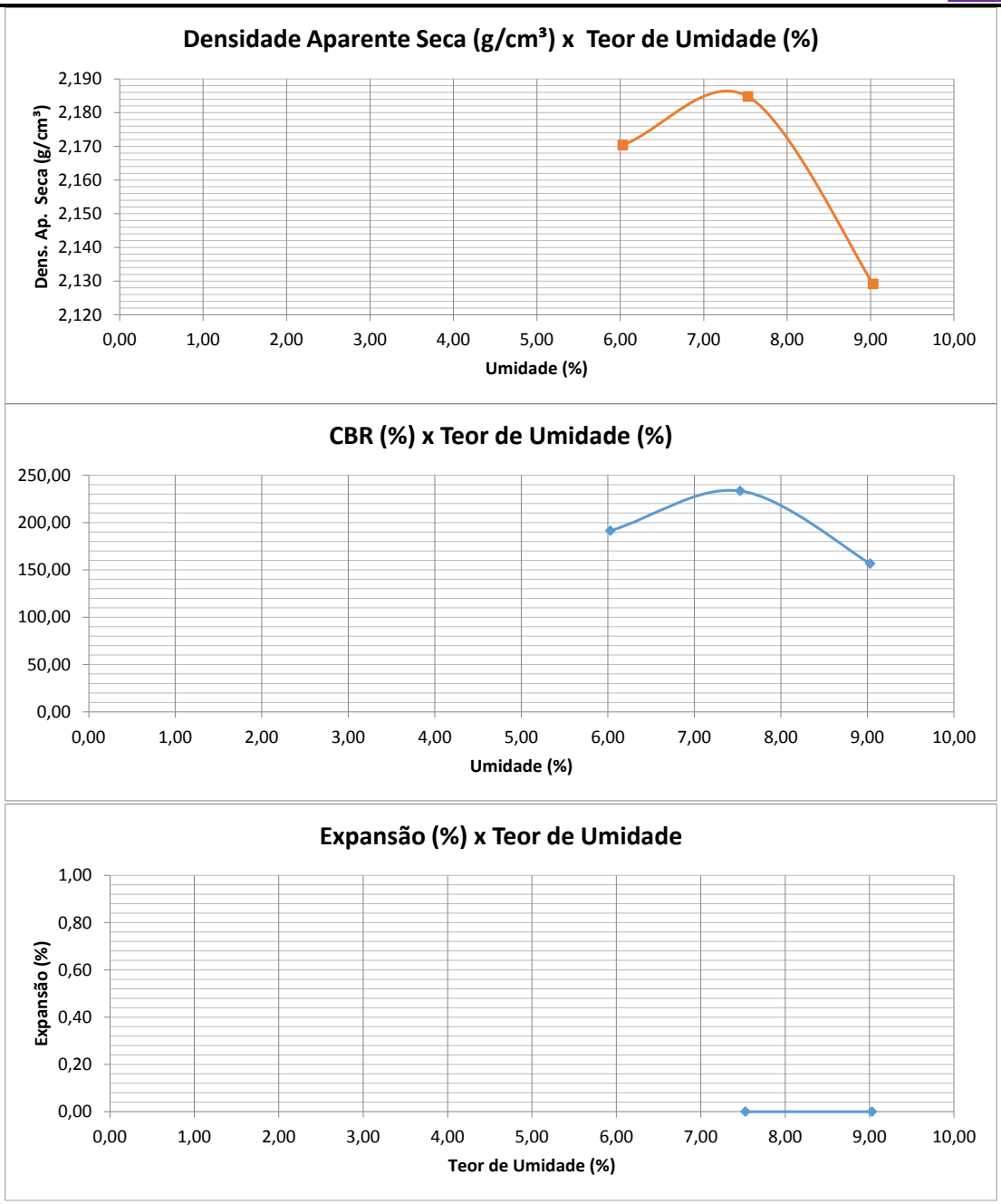
REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
44	Brita graduada	Base	UA08	Km644+770	55		Guilherme

Cilindro nº		10		20		19						
Alturas dos CP´s		113,30		113,30		113,00						
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
08/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
09/03/19	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
09/03/22	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
09/03/25	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
10/03/25	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
Expansão Final (%)		0,00		0,00		0,00					

PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

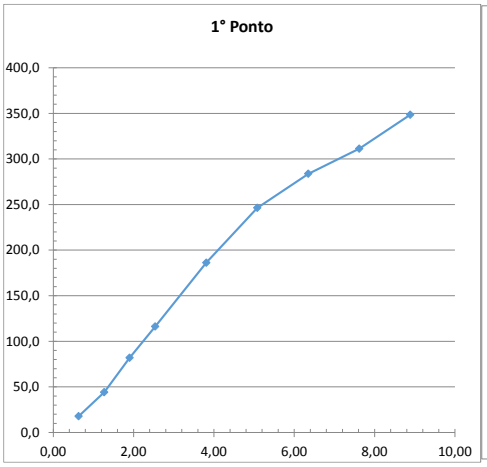
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel	0,0967			
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	184	17,8	128	12,4	64	6,2				
1	1,27	457	44,2	329	31,8	199	19,2				
1,5	1,90	847	81,9	628	60,7	398	38,5				
2	2,54	1203	116,3	945	91,4	555	53,7				
3	3,81	1926	186,2	1545	149,4	1215	117,5				
4	5,08	2548	246,3	2089	201,9	1709	165,2				
5	6,35	2935	283,7	2531	244,7	2009	194,2				
6	7,62	3220	311,3	3029	292,8	2310	223,3				
7	8,89	3605	348,5	3526	340,9	2680	259,1				
8	10,16										
10	12,70										

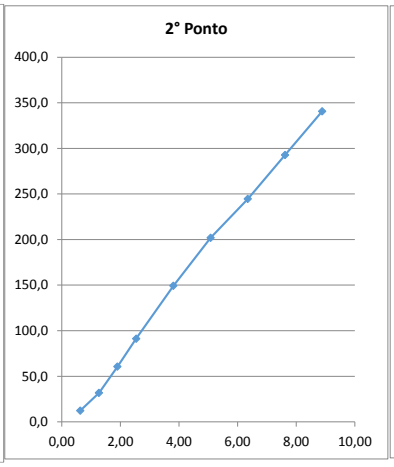
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		165,3		129,8		76,3				
I.S.C. 5,08 mm		233,4		191,3		156,5				

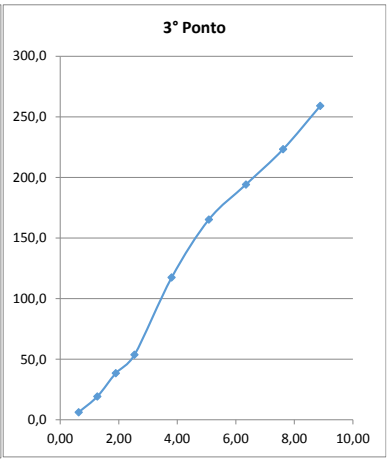

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,190
2,180
2,170
2,160
2,150
2,140
2,130
2,120
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Umidade (%)

CBR (%) x Teor de Umidade (%)
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Umidade (%)

Expansão (%) x Teor de Umidade
Expansão (%)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Teor de Umidade (%)

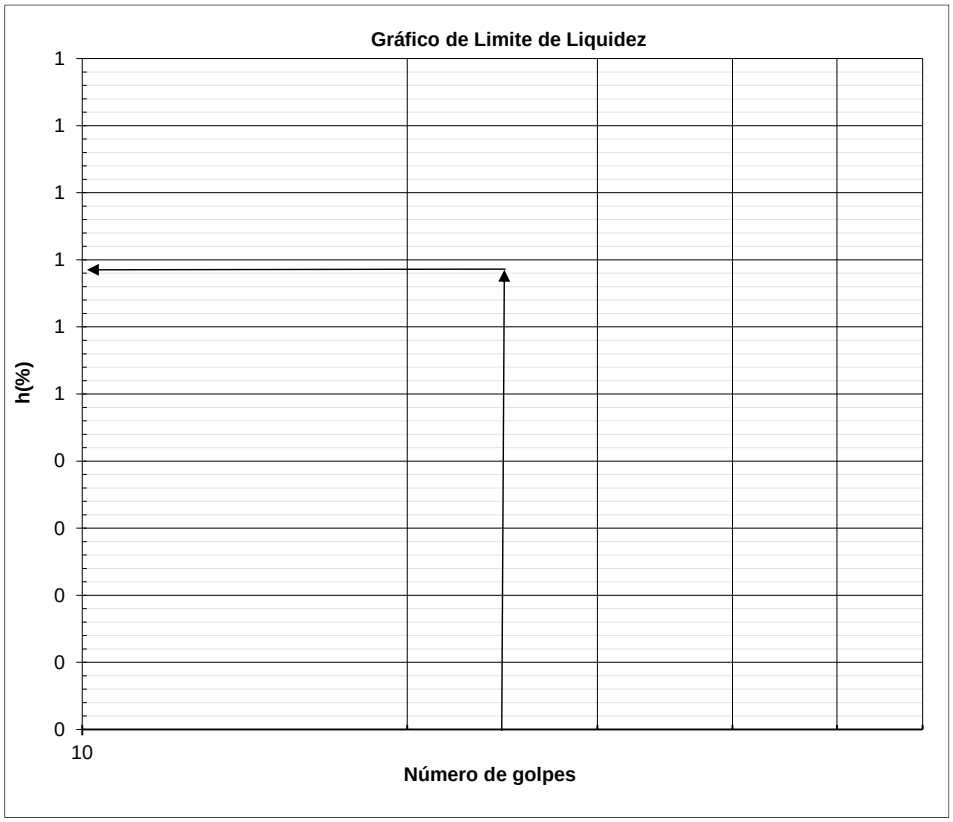

1° Ponto
400,0
350,0
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00


2° Ponto
400,0
350,0
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00


3° Ponto
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°	1/1	
						VERSÃO	00	
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
43	**97+625**				**UA01**		**GUILHERME**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)				NL				
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Nº de golpes								
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)				NP				
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)		
Limite de Plasticidade (LP)		
Índice de Plasticidade (IP)		

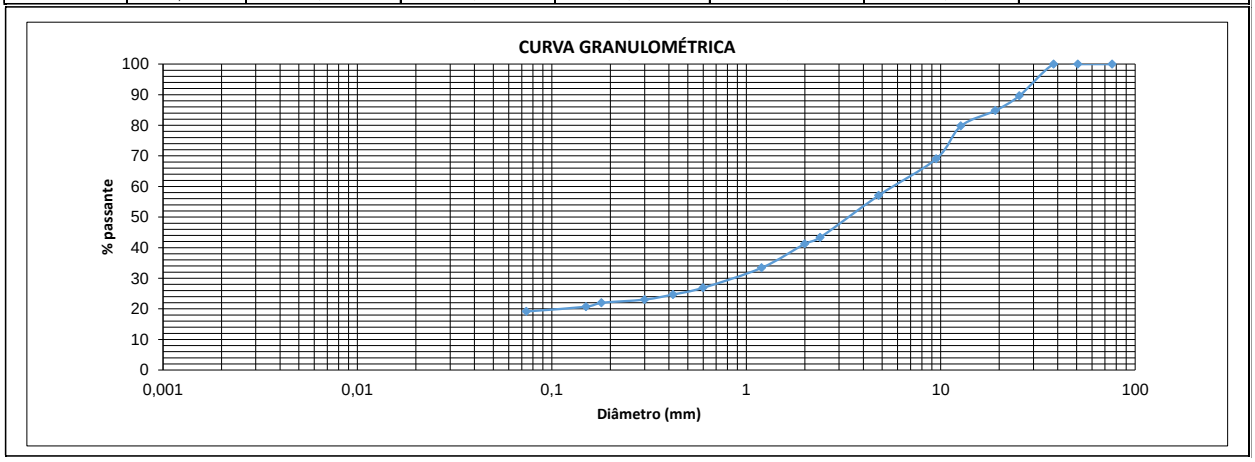


	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
46			UA08		Cascalho Arenoso		Sub-base	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	32	79	Pedregulho: acima 4,8 mm	42,92
Recipiente nº	Retido nº10	1161,00	C + S + A (g)	72,97	71,48	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	15,83
3	Passando nº 10 úmida	839,00	C + S (g)	71,32	69,9	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	16,56
Retido nº 10	Peso da água	23,98	A = Água (g)	1,65	1,58	Areia Fina: entre nº 40 e 200	5,52
	Passando nº10 seca	815,02	C = Cápsula (g)	16,396	15,046	Passando nº 200	19,17
Recipiente nº:	Amostra Total Seca	1976,02	S = Solo (g)	54,924	54,854	TOTAL	100,00
13	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	3,00	2,88	Retido: (nº 10 - nº 200)	22,08
	Amostra menor nº10 seca	194,28	Fator de Correção	0,9714			

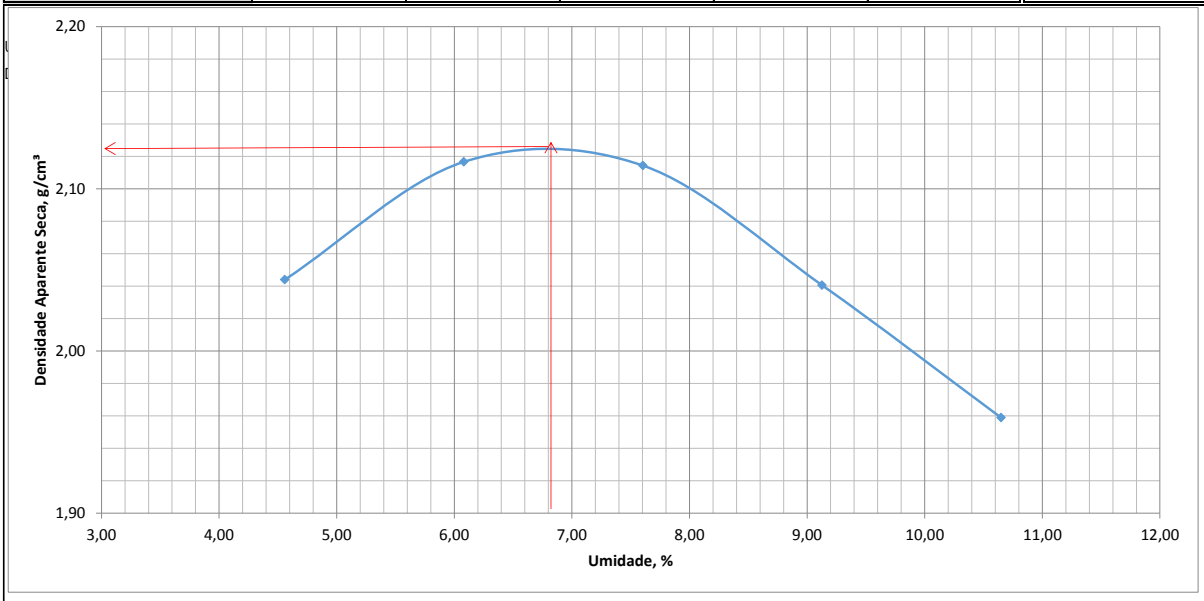
Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	204,40		10,34	10,34	89,66
3/4 pol	19,10	95,70		4,84	15,19	84,8
1/2 pol	12,70	100,00		5,06	20,25	79,8
3/8 pol	9,50	211,10		10,68	30,93	69,1
nº 4	4,80	237,00		11,99	42,92	57,1
nº 8	2,40	271,30		13,73	56,65	43,3
nº 10	2,00	41,50		2,10	58,75	41,2
nº 16	1,20	36,90	18,99	7,83	66,59	33,4
nº 30	0,60	30,70	15,80	6,52	73,11	26,9
nº 40	0,42	10,40	5,35	2,21	75,31	24,7
nº 50	0,30	7,80	4,01	1,66	76,97	23,0
nº 80	0,18	5,00	2,57	1,06	78,03	22,0
nº 100	0,15	6,00	3,09	1,27	79,30	20,7
nº 200	0,074	7,20	3,71	1,53	80,83	19,2



	FORMULÁRIO					PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA DNIT 124/94					VERSÃO	00
						DATA	27/11/2015
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.001	

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA	Folha
46	UA08	644+770	Subbase	Casc. Arenoso	-	07/03/2016	1
% RETIDO nº 4	**PROCTOR**	**ENERGIA**	**Solo Úmido (g)**	**Solo Seco (g)**	**Água**	**OPERADOR**	**FURO**
51,10%	Intermediário	26	**8.000,00**	7880,7	119,3	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE											1,5		
	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											10	6	
C + S + A (g)											264,5	221,5	
C + S (g)											261,6	219,1	
A - ÁGUA (g)											2,9	2,4	
C - CÁPSULA (g)											80,53	52,00	
S - SOLO (g)											181,1	167,1	
UMIDADE (%)											1,6	1,4	
UMIDADE MÉDIA											FATOR DE CORREÇÃO		
UMID. ADOTADA (%)	4,56		6,08		7,60		9,13		10,65		0,9851		
UMIDADE CALCULADA (%)	4,56		6,08		7,60		9,13		10,65		Moldes		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	2,044		2,117		2,114		2,041		1,959		N°	Peso	Volume
COMPACTAÇÃO											8	5495	2049
CILINDRO Nº	11		8		12		15		3		12	5450	2051
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240		360		480		600		720		11	5535	2066
ÁGUA ADICIONADA (%)	30		4,5		6		7,5		9		15	5460	2048
M + S + A (g)	9950		10095		10115		10020		9990		3	5530	2058
M - MOLDE (g)	5535		5495		5450		5460		5530		**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
S + A (g)	4415		4600		4665		4560		4460		6,8		
VOL. CILINDRO (cm³)	2066		2049		2051		2048		2058		**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,137		2,245		2,275		2,227		2,167		2,123		

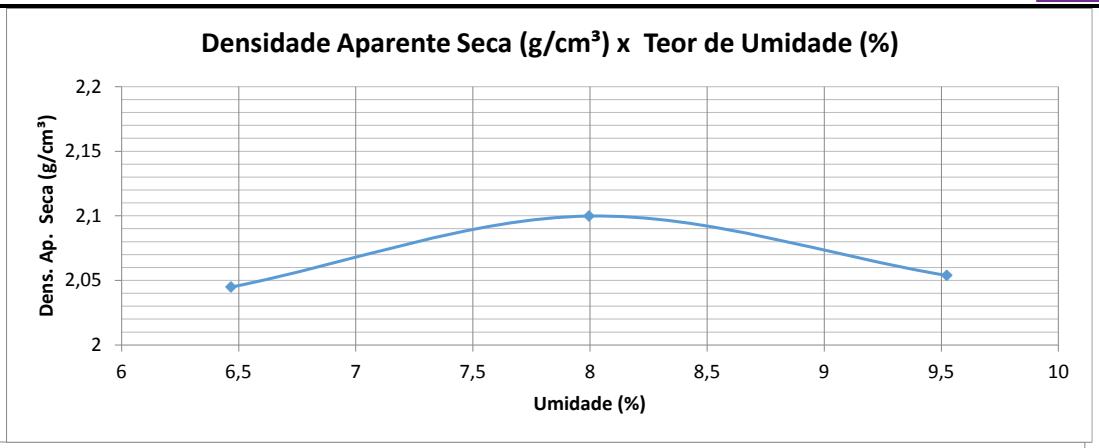


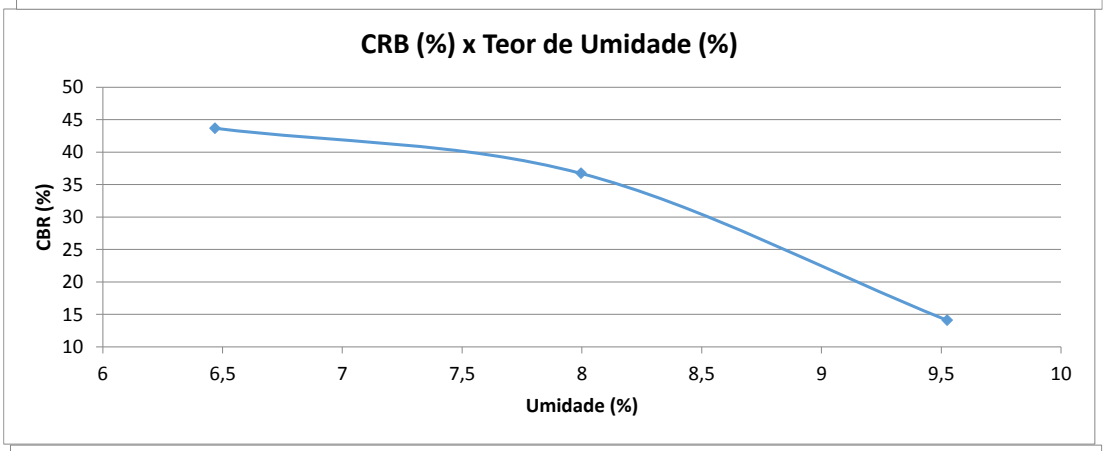
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	**FORMULÁRIO**							**PAGINA N°**		**1/1**	
								VERSÃO		**00**	
	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94							**DATA**			
								DOCUMENTO Nº FO.RDT.004			
REGISTRO Nº	MATERIAL		CAMADA		PROCED.	ESTACA		ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR	
46	**Cascalho Arenoso**		**Sub-Base**		**UA08**	**Km 644+770**		**26**		**Guilherme**	
Cilindro nº	12		8		15						
Alturas dos CP´s	113,30		113,80		113,60						
Data / Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	
08/03/16 13:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00					
09/03/19 13:40	2,02	0,02	2,02	0,02	2,00	0,00					
09/03/22 13:40	2,02	0,00	2,02	0,00	2,00	0,00					
09/03/25 13:40	2,02	0,00	2,02	0,00	2,00	0,00					
10/03/25 13:40	2,02	0,00	2,02	0,00	2,00	0,00					
Expansão Final (%)	0,02		0,02		0,00						

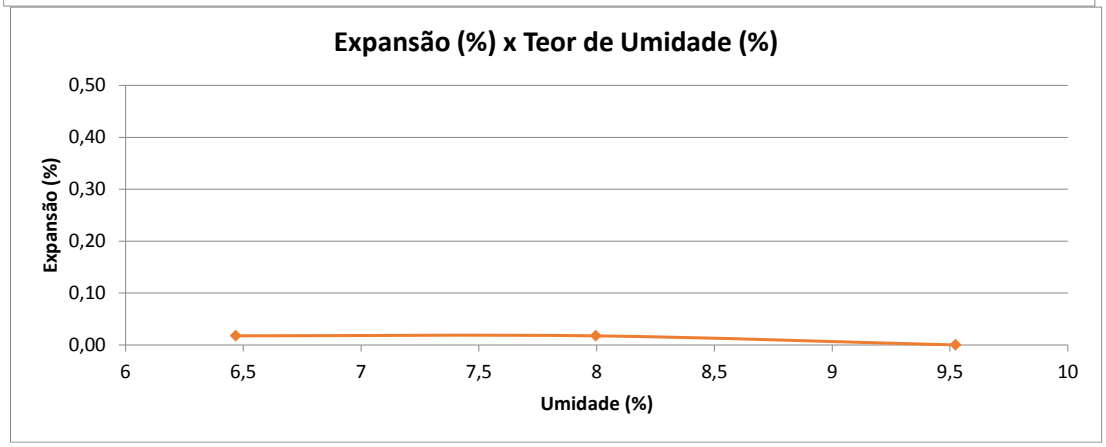
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

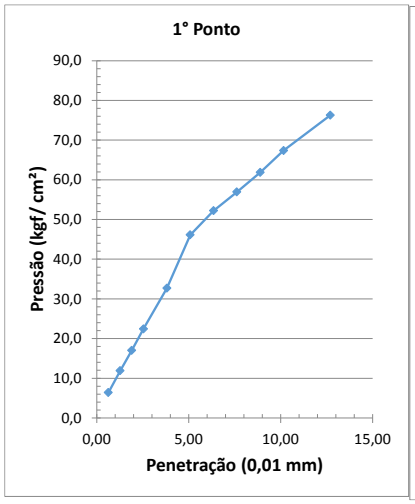
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel			0,0967		
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	66	6,4	58	5,6	47	4,5				
1	1,27	123	11,9	97	9,4	63	6,1				
1,5	1,90	176	17,0	139	13,4	80	7,7				
2	2,54	232	22,4	186	18,0	93	9,0				
3	3,81	338	32,7	287	27,7	121	11,7				
4	5,08	477	46,1	401	38,8	154	14,9				
5	6,35	540	52,2	512	49,5	190	18,4				
6	7,62	589	56,9	617	59,6	227	21,9				
7	8,89	640	61,9	719	69,5	273	26,4				
8	10,16	697	67,4	826	79,8	317	30,6				
10	12,70	789	76,3	1036	100,2	402	38,9				

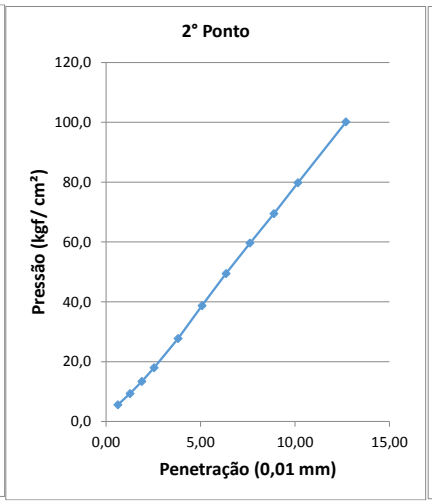
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		31,9		25,6		12,8				
I.S.C. 5,08 mm		43,7		36,7		14,1				

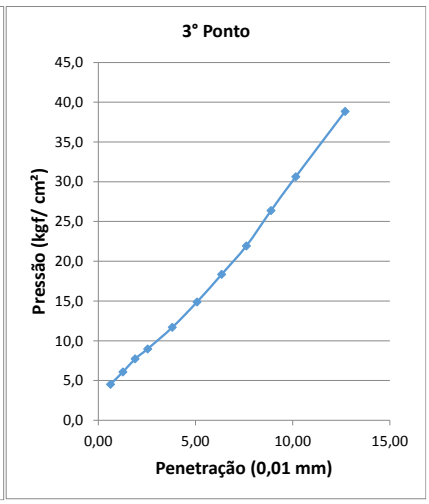

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,2
2,15
2,1
2,05
2
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
9,5
10
Umidade (%)


CRB (%) x Teor de Umidade (%)
CBR (%)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
9,5
10
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade (%)
Expansão (%)
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
9,5
10
Umidade (%)

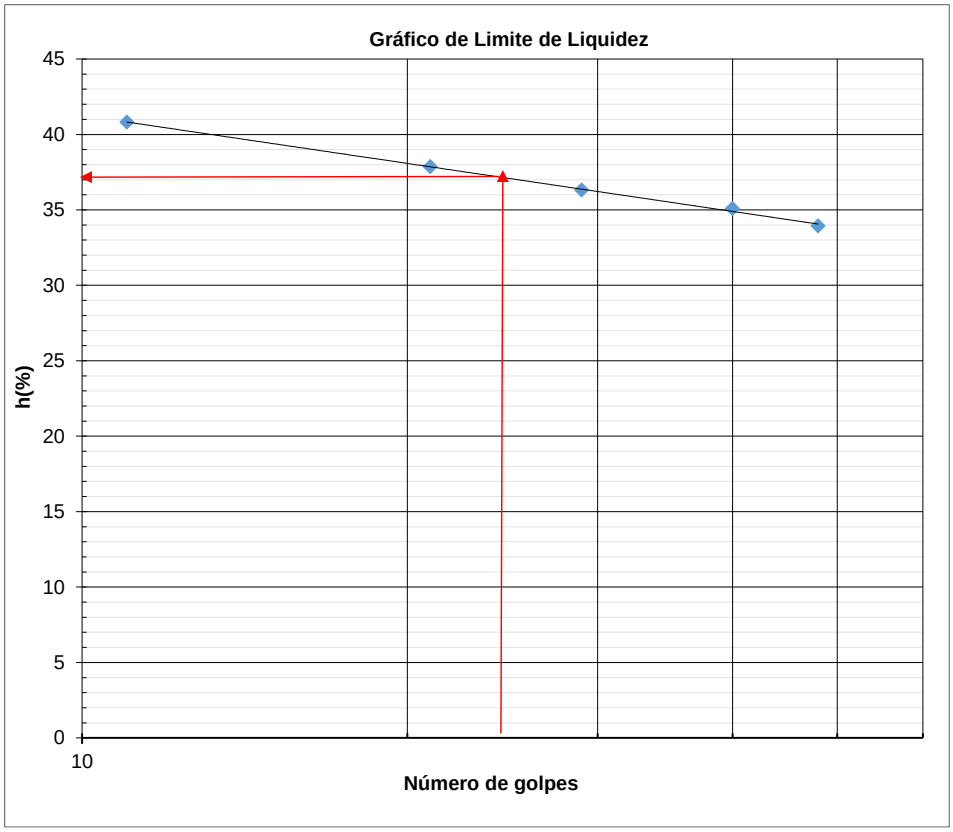

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
45,0
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
46	**UA08**		**SUB-BASE**				**Guilherme**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº	110	69	98	92	91			
Cápsula+Solo Úmido (g)	16,85	19,08	16,89	17,7	16,95			
Cápsula+Solo Seco (g)	14,38	16,01	14,08	15,06	14,09			
Peso da Água (g)	2,47	3,07	2,81	2,64	2,86			
Peso da Cápsula (g)	7,10	7,26	6,34	8,09	7,08			
Peso do Solo Seco (g)	7,278	8,751	7,738	6,972	7,007			
Teor de Umidade (%)	33,94	35,08	36,31	37,87	40,82			
Nº de golpes	48	40	29	21	11			
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº	7	31	81	23	36			
Cápsula+Solo Úmido (g)	9,74	9,16	9,82	8,99	8,92			
Cápsula+Solo Seco (g)	9,5	8,95	9,6	8,83	8,73			
Peso da Água (g)	0,24	0,21	0,22	0,16	0,19			
Peso da Cápsula (g)	8,38	7,94	8,55	8,04	7,83			
Peso do Solo Seco (g)	1,12	1,006	1,053	0,786	0,905			
Teor de Umidade (%)	21,41	20,87	20,89	20,36	20,99			
Umidade Média	20,91		Limite Superior		21,95	Limite Inferior		19,86
Verificação dos Limites	21,41	20,87	20,89	20,36	20,99			

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)	37,0	
Limite de Plasticidade (LP)	20,91	
Índice de Plasticidade (IP)	16,09	



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DENSIDADE "*in situ*"	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.XXX	

NORMA DNER 092/94

DATA:	**22/02/2016**	**KM INICIAL:**	**UA08**	**KM FINAL:**	
SENTIDO:	**Sul**	**FAIXA:**	**2**	**OPERADOR:**	**GILSON**

1. Peso Frasco Antes	7000,00	7000,00		
2. Peso Frasco Depois	5070,00	5310,00		
3. Peso Areia Deslocada	1930,00	1690,00		
4. Peso Areia no Cone*	488	488		
5. Peso Areia no Furo	1442,00	1202,00		
6. Densidade da areia (g/cm³) *	1,414	1,414		
7. Volume do Furo (cm³) - 5/6	1020	850		

* DADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO

UMIDADES - h	CAMPO		LABORATÓRIO		CAMPO			LABORATÓRIO		
Cápsula N°.	49	5	24	97						
Cáp. + Solo + Água (g)	122,24	118,27	114,99	107,16						
Cápsula + Solo (g)	119,83	115,96	107,32	99,14						
Cápsula (g)	18,88	16,62	15,66	16,90						
Água (g)	2,41	2,31	7,67	8,02						
Solo Seco (g)	100,95	99,34	91,66	82,24						
Umidade %	2,4	2,3	8,4	9,8						

8. Umidade Média %	2,4	9,1		
Furo N°.				
9. Peso Total do Material do Furo (g)	2300	1865		
10. Densidade Úmida (g/cm³) - 9/7	2,255	2,194		
11. Dens. Apar. Solo Seco (g/cm³) - 10/8	2,203	2,012		
Profundidade do Furo (cm)	16	15		
Camada	Base	Sub-base	subleito	
Data:				

CONFRONTO DOS RESULTADOS

Densidade Aparente Máxima	2,192	2,128		
Densidade do Campo	2	2		
Umidade Ótima	7,3	6,8		
Umidade de Campo	2,356	9,060		
Grau de Compactação	100,5	94,5		

OBSERVAÇÕES:

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO MANCHA DE AREIA	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.xxx	

NORMA RT 03-25

PISTA:	BR 040											
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**L6**	**Volume areia (mm³)**	**Diâmetro Médio Ds (mm)**	**Altura média Hs (mm)**	**OBS**
UA08 -40m	BD	Sul	230	225	220	233	224		25000	226,4	0,62	
UA08 -20m	BE	Sul	275	265	282	285	265		25000	274,4	0,42	
UA08 +0m	BD	Sul	215	215	220	217	216		25000	216,6	0,68	
UA08 +20m	BE	Sul	237	255	256	230	261		25000	247,8	0,52	
UA08 +40m	BD	Sul	240	275	240	242	250					

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA HD 15/87 e HD 36/87

PISTA:	BR 040								
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**Média**	**OBS.:**
UA 8 +0 m	Direito	Sul	36	60	45	35	37	42,6	39°C
UA 8 +20 m	Esquerdo	Sul	61	70	51	65	78	65,0	39°C
UA 8 +40 m	Direito	Sul	75	55	53	54	54	58,2	39°C
UA 8 -40 m	Direito	Sul	56	57	49	55	70	57,4	39°C
UA 8 -20 m	Esquerdo	Sul	60	70	55	60	53	59,6	39°C
UA 8	Direito	Sul	55	60	72	65	73	65,0	39°C

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO TRELIÇA	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA DNIT 006/2003-PRO

PISTA:

Data	KM	Bordo	Sentido	Leitura (mm)	OBS.:
22/02/2016	UA 08	Direito	Norte	0	
22/02/2016	UA 08 +20m	Esquerdo	Norte	0	
22/02/2016	UA 08 +20m	Direito	Norte	0	
22/02/2016	UA 08 +20m	Esquerdo	Norte	0	
22/02/2016	UA 08 +20m	Direito	Norte	0	
22/02/2016	UA08	BE	Sul	1	
22/02/2016	UA08	BD	Sul	4	
22/02/2016	UA08 -20m	BE	Sul	1	
22/02/2016	UA08 -20m	BD	Sul	6	
22/02/2016	UA08 -40m	BD	Sul	4	
22/02/2016	UA08 -40m	BE	Sul	6	
22/02/2016	UA08 +20m	BE	Sul	4	
22/02/2016	UA08 +20m	BD	Sul	9	
22/02/2016	UA08 +40m	BD	Sul	5	
22/02/2016	UA08 +40m	BE	Sul	4	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA VIA 040 invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DEFLEXÃO NORMA DNIT 133/2010 - ME	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.013	

DATA:	18/fev	KM INICIAL	97+550/GO	SENTIDO:	SUL	K VIGA	2
FAIXA:	1	KM FINAL	97+750/GO	OPERADOR:		GILSON	

CÁLCULO DA BACIA DE DEFLEXÃO

UA 08 - 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,14	0,25	0,33	0,37	0,42	0,42	0,42	0,4	80,000	
		Deflexão (0,01mm)	80,0	52,0	30,0	14,0	6,0	-4,0	-4,0	-4,0	0,0		76,000
UA 08 - 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0,05	0,15	0,21	0,28	0,32	0,34	0,36	0,36	72,000	
		Deflexão (0,01 mm)	72,0	62,0	42,0	30,0	16,0	8,0	4,0	0,0	0,0		
UA 08	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,03	0,07	0,08	0,1	0,13	0,15	0,15	0,14	28,000	
		Deflexão (0,01mm)	28,0	22,0	14,0	12,0	8,0	2,0	-2,0	-2,0	0,0		46,000
UA 08	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (0,01 mm)	0	0,08	0,14	0,19	0,23	0,27	0,28	0,31	0,32	64,000	
		Deflexão (mm)	64,0	48,0	36,0	26,0	18,0	10,0	8,0	2,0	0,0		
UA 08 + 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0	0,06	0,21	0,24	0,27	0,27	0,23	0,08	16,000	
		Deflexão (0,01mm)	16,0	16,0	4,0	-26,0	-32,0	-38,0	-38,0	-30,0	0,0		36,000
UA 08 + 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	
		Leitura (mm)	0	0,05	0,1	0,15	0,18	0,23	0,24	0,27	0,28	56,000	
		Deflexão (0,01mm)	56,0	46,0	36,0	26,0	20,0	10,0	8,0	2,0	0,0		

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE A CARGA CONSTANTE	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.XXX	

NORMA NBR 13292

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
44	Brita Graduada	Base	UA 08					Gilson

DADOS PARA CÁLCULO

				Obs.:
Densidade Real dos Grãos	g/cm³		δ	
Índice de Vazios Máximo	-		$e_{máx.}$	
Índice de Vazios Mínimo	-		$e_{mín.}$	
Volume do Corpo de Prova	cm³		V = L x A	
Densidade do Solo Úmido	g/cm³	1,68	$\gamma h = \frac{Ph}{V}$	
Densidade do Solo Seco	g/cm³		$\gamma s = \frac{\gamma h}{1+h}$	
Índice de Vazios	-		$e_{nat} = \frac{\delta}{\gamma_s} - 1$	
Compacidade Relativa	%		$CR = \frac{e_{máx} - e_{nat}}{e_{máx} - e_{mín}}$	

TEOR DE UMIDADE

Cápsula	Nº	27	49				
Solo úmido + Tara	g	181,83	128,66				
Solo seco + Tara	g	131,77	128				
Tara	g						
Solo seco	g	131,77	128				
Água	g	50,06	0,66				
Umidade →h	%	0,3799044	0,0051562				
Média	%	0,19253031					

Corpo de prova	Nº	1,00
Comprimento (cm)	L=	15,76
Área (cm²)	A=	186,75
Diâmetro (cm)	φ=	15,42
Volume (cm³)	V=	
K_T =	0,3320	$K_T = \frac{\Delta V \times L}{\Delta t \times H \times A}$
K_{20} =	0,2952	$K_{20} = C_K \times K_T$

Volume Escoado ΔV (cm³)	CARGA H (cm)	TEMPO minuto	TEMPO segundo	TEMPO Δt (seg)	T °C	Coeficiente de Permeabilidade KT (cm/seg)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cm/seg)
100	1,8			9,64	25	0,486346801	0,889	4,32E-01
100	1,8			9,41	25	0,49823413	0,889	4,43E-01
100	1,8			9,86	25	0,47549525	0,889	4,23E-01
100	3,4			9,45	25	0,262654519	0,889	2,33E-01
100	3,4			9,76	25	0,254312009	0,889	2,26E-01
100	3,4			10,02	25	0,247713094	0,889	2,20E-01
100	3,4			9,66	25	0,256944638	0,889	2,28E-01
100	3,2			9,07	25	0,290762462	0,889	2,58E-01
100	3,2			8,98	25	0,293676562	0,889	2,61E-01
100	3,2			8,76	25	0,301052001	0,889	2,68E-01
100	3,2			9,25	25	0,285104381	0,889	2,53E-01

Obs.:

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
46	Cascalho Arenoso	Sub-Base	UA08		644			Guilherme

PERMEÂMETRO Nº.			Corpo de Prova Nº.		5
Constante do Ensaio	2,10	2,3.(a.L)/A	Comprimento (cm)	L =	12,8
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	Área (cm²)	A =	78,54
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	Diâmetro (cm)	f =	10
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	Peso (g)	Ph =	2008
Volume do Corpo de Prova (cm³)	1005,31	V = L.A	OBS.:		
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	1,997	gh = Ph/v			
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	1,871	gs = gh/(1+h)			
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1			
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})			

TEOR DE UMIDADE							Molde	Nº.	
	ANTES			DEPOIS			Diâmetro (cm)	Φ=	10
Cápsula Nº.	6	54					Área (cm²)	A =	78,53981634
Solo Úmido + Tara (g)	100,99	116,27					Bureta	Nº.	1
Solo Seco + Tara (g)	95,52	110,19					Diâmetro (cm)	Φ =	2,67
Tara (g)	15,02	19,7					Área (cm²)	a =	5,60
Solo Seco (g)	80,5	90,49					K_T = 8,04E-03		K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)
Água (g)	5,47	6,08							
Umidade - h	6,8%	6,7%					K_{20} = 7,65E-03		K_{20} = C_K.K_T
Média	6,8%								

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (ºC)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
10:52	6,49	80	163	153	1,0653595	0,0274962	8,89E-03	22	0,952	8,46E-03
	14,88	70	153	143	1,0699301	0,0293554	4,14E-03	22	0,952	3,94E-03
	8,06	60	143	133	1,075188	0,0314844	8,20E-03	22	0,952	7,80E-03
	8,3	50	133	123	1,0813008	0,0339465	8,58E-03	22	0,952	8,17E-03
	8,68	40	123	113	1,0884956	0,0368267	8,90E-03	22	0,952	8,48E-03
	8,88	30	113	103	1,0970874	0,0402412	9,51E-03	22	0,952	9,05E-03

Obs.:

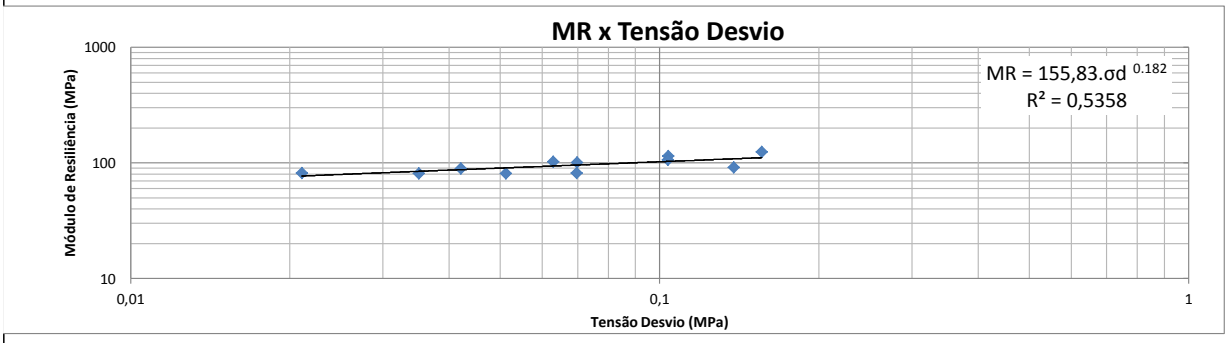
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

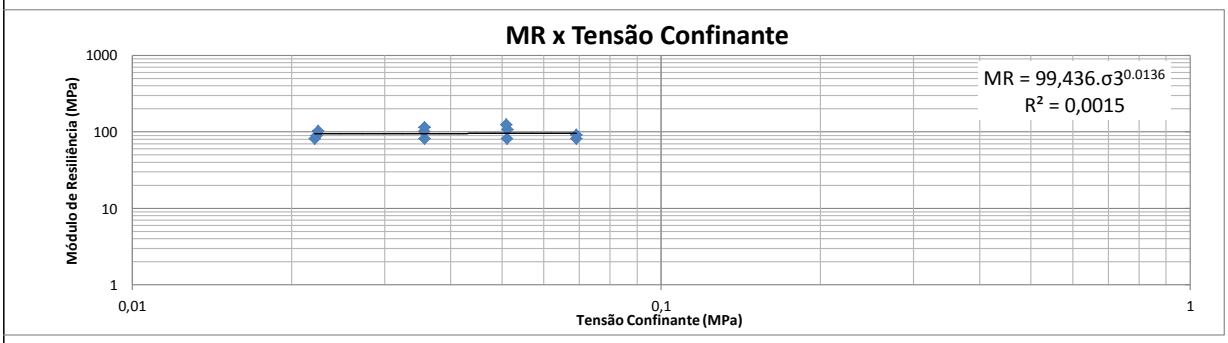
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
44			644+770 (UA08)	Base	Brita Graduada		08/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	99,04	95,68	90,68	79,26	50,93	34,02	28,5	21,83	17,95	14,44	9,08	5,83
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-1-a	7,20		2,19		233,38		0,00			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02213	0,02107	6,93%	1,78%	2,58E-04	81,739
0,0689	0,2068		0,0414	0,02233	0,04212	7,87%	1,73%	4,69E-04	89,826
0,1029	0,3090		0,0621	0,02244	0,06291	8,42%	1,30%	6,15E-04	102,350
		0,0345	0,0345	0,03566	0,03506	3,37%	1,62%	4,30E-04	81,538
			0,0689	0,03562	0,06987	3,25%	1,40%	6,91E-04	101,164
			0,1029	0,03569	0,10381	3,45%	0,88%	9,05E-04	114,647
		0,0504	0,0504	0,05109	0,05119	1,36%	1,58%	6,29E-04	81,401
			0,1029	0,05116	0,10374	1,50%	0,81%	9,71E-04	106,819
			0,1552	0,05097	0,15611	1,14%	0,59%	1,25E-03	124,518
		0,068	0,0689	0,06913	0,06967	1,65%	1,12%	8,48E-04	82,153
			0,1379	0,06908	0,13808	1,60%	0,13%	1,51E-03	91,575
			0,2068						
		0,1029	0,1029						
			0,2068						
			0,309						
		0,1379	0,1379						
			0,2747						
			0,412						





Observação:

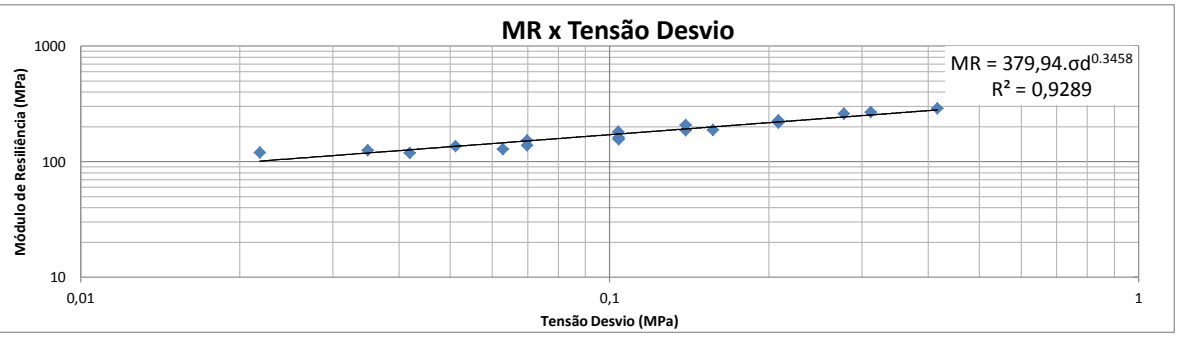
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

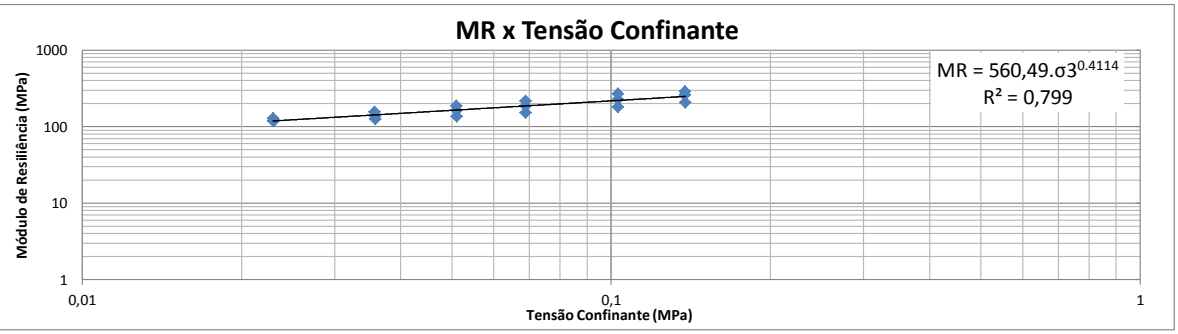
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
46			644+770 (UA08)	Sub-base	Cascalho arenoso		08/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

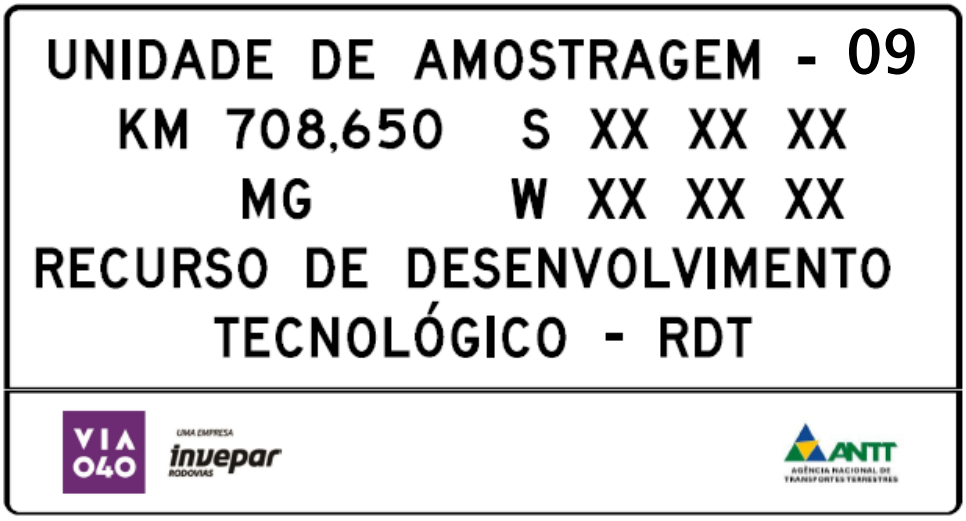
Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	89,66	84,81	79,75	69,07	57,08	41,25	33,41	26,89	24,69	23,03	20,7	19,17
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-1-b	6,8		2		43,69		0,02			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02304	0,02181	11,31%	5,35%	1,82E-04	120,243
0,0689	0,2068		0,0414	0,02296	0,04187	10,91%	1,13%	3,52E-04	118,836
0,1029	0,3090		0,0621	0,02296	0,06282	10,94%	1,17%	4,90E-04	128,333
		0,0345	0,0345	0,03578	0,03487	3,70%	1,07%	2,78E-04	125,508
			0,0689	0,03583	0,06981	3,86%	1,32%	5,04E-04	138,574
			0,1029	0,03570	0,10393	3,48%	1,00%	6,67E-04	155,811
		0,0504	0,0504	0,05106	0,05110	1,31%	1,39%	3,74E-04	136,649
			0,1029	0,05098	0,10404	1,16%	1,11%	6,39E-04	162,897
			0,1552	0,05090	0,15670	0,98%	0,96%	8,32E-04	188,314
		0,068	0,0689	0,06889	0,06987	1,30%	1,40%	4,57E-04	152,791
			0,1379	0,06888	0,13929	1,30%	1,01%	7,45E-04	187,057
			0,2068	0,06887	0,20852	1,28%	0,83%	9,56E-04	218,199
		0,1029	0,1029	0,10292	0,10383	0,01%	0,91%	5,71E-04	181,908
			0,2068	0,10290	0,20845	0,00%	0,80%	9,13E-04	228,214
			0,309	0,10290	0,31178	0,00%	0,90%	1,16E-03	268,073
		0,1379	0,1379	0,13792	0,13931	0,01%	1,02%	6,68E-04	208,420
			0,2747	0,13789	0,27716	0,01%	0,89%	1,06E-03	260,815
			0,412	0,13788	0,41614	0,02%	1,00%	1,44E-03	289,901





Observação:


UNIDADE DE AMOSTRAGEM - 09
KM 708,650 S XX XX XX
MG W XX XX XX
RECURSO DE DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO - RDT
VIA 040
UMA EMPRESA
invepar
RODOVIAS
ANTT
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS - VIA 040								
CAMPANHA DE CAMPO 01 - JANEIRO/FEVEREIRO - 2016								
QUADRO RESUMO								
UA 09		708 +650			Camada			
					CA	Base	Sub-Base	Subleito
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Caracterização	Granulometria	% passando	3 "	-	100,00	100,00	100,00
				2 "	-	100,00	100,00	100,00
				1 1/2 "	-	100,00	100,00	100,00
				1 "	-	100,00	100,00	100,00
				3/4 "	-	99,16	92,69	100,00
				1/2 "	-	99,03	87,56	100,00
				3/8 "	-	79,51	80,40	99,65
				nº 4	-	58,80	61,97	98,05
				nº 8	-	49,03	43,59	97,36
				nº 10	-	48,04	40,21	97,19
				nº 16	-	44,84	33,92	96,51
				nº 30	-	35,60	29,06	91,64
				nº 40	-	27,23	27,10	83,28
				nº 50	-	21,29	25,46	73,65
				nº 80	-	21,29	23,84	63,92
				nº 100	-	14,55	21,70	58,47
				nº 200	-	10,94	19,38	52,15
		Espesura da camada (cm)			15,00	18,00	17,00	19,00
		Material			CBUQ	Brita graduada	Cascalho argiloso	Argila siltosa arenosa vermelha
		L.L.			-	NL	NL	46,50
		L.P.			-	NP	NP	24,40
		I.P.			-	0	0	22,10
		I.G.			-	0	0	9
		Classificação H.R.B.			-	A-1-b	A-2-4	A - 6
	Compactação	Dens. seca máx (g/cm³)			-	2,239	2,073	1,670
		Umidade ótima (%)			-	5,80	9,20	18,80
		CBR (%)			-	173,48	49,19	8,90
		Expansão (%)			-	0,00	0,03	0,01
	Módulo de Resiliência (Mpa)				-	-	-	
	Permeabilidade (cm/s)				-	1,36	5,21E-06	4,73E-07
ENSAIOS *IN SITU*	Umidade natural (%)				-	3,24%	8,72%	18,54%
	Densidade úmida (g/cm³)				-	2,396	2,305	1,983
	Dens. seca máx (g/cm³)				-	2,321	2,120	1,673
	Grau de Compactação (%)				-	103,7%	102,2%	100,2%
	DCP - mm/golpe				-	-	-	
	Mancha de Areia - Hs (mm)				0,49	-	-	
	Pêndulo Britânico - VRD				55,44	-	-	
	Medição de ATR (mm)				6,10	-	-	
	Permeabilidade *in situ* (cm/s)				-	-	-	
	Deflexão máxima - VB (0,01 mm)				-4366,67	-	-	

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se $IP \leq LL - 30$, será A-7-5; Se $IP > LL - 30$, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

- a = p - 35 (se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35) — a varia de 0 a 40 e $0{,}2 \cdot a$ varia de 0 a 8.
- b = p - 15 (se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15) — b varia de 0 a 40 e $0{,}01 \cdot b \cdot d$ varia de 0 a 8.
- c = LL - 40 (se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40) — c varia de 0 a 20 e $0{,}005 \cdot a \cdot c$ varia de 0 a 4.
- d = IP - 10 (se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10) — d varia de 0 a 20 e $0{,}01 \cdot b \cdot d$ varia de 0 a 8.

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	0	15
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	4	19
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	17,151	52,151
b= #200 -15	37	52
c = LL - 40	7	47
d= IP - 10	14	24

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade											
IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
VIA 040 — UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.XXX	

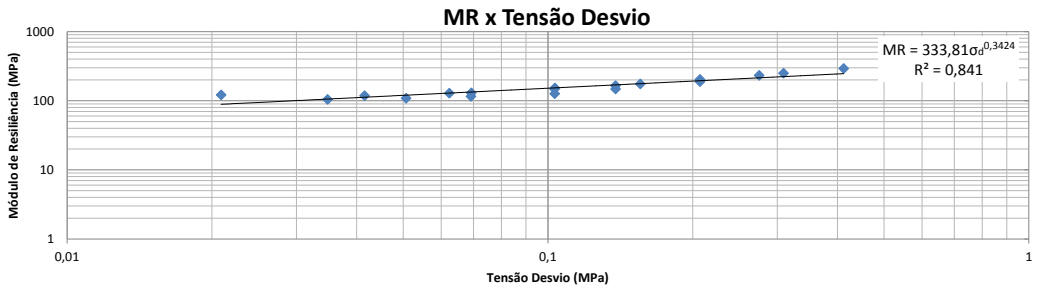
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
				Base			

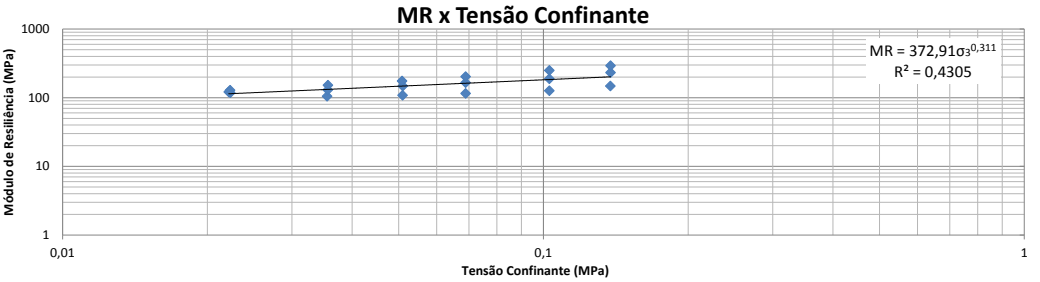
DADOS DA AMOSTRA

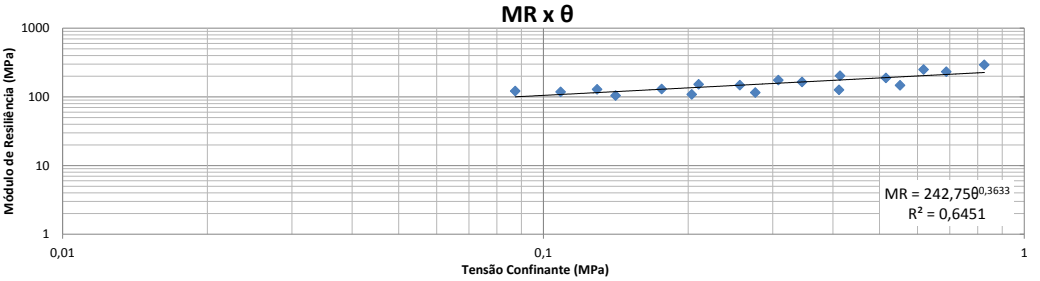
Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)													
IP		Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG		Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB													

Tensões de condicionamento	
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)
0,0689	0,0689
0,0689	0,2068
0,1029	0,3090

Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio (Média das 15 repetições por sequência)					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0207	0,0207	0,02216	0,02092	7,07%	1,04%	1,72E-04	121,452
	0,0414	0,02234	0,04157	7,92%	0,41%	3,53E-04	117,892
	0,0621	0,02232	0,06238	7,82%	0,45%	4,85E-04	128,507
0,0345	0,0345	0,03550	0,03483	2,90%	0,96%	3,34E-04	104,406
	0,0689	0,03562	0,06931	3,26%	0,60%	5,35E-04	129,656
	0,1029	0,03565	0,10338	3,35%	0,47%	6,79E-04	152,231
0,0504	0,0504	0,05095	0,05072	1,09%	0,63%	4,68E-04	108,295
	0,1029	0,05100	0,10324	1,18%	0,34%	7,00E-04	147,566
	0,1552	0,05083	0,15565	0,85%	0,29%	8,90E-04	174,802
0,068	0,0689	0,06890	0,06920	1,32%	0,43%	6,01E-04	115,214
	0,1379	0,06890	0,13835	1,32%	0,32%	8,39E-04	164,915
	0,2068	0,06891	0,20720	1,34%	0,19%	1,02E-03	202,518
0,1029	0,1029	0,10290	0,10337	0,00%	0,46%	8,19E-04	126,190
	0,2068	0,10292	0,20713	0,01%	0,16%	1,10E-03	188,359
	0,309	0,10292	0,30917	0,02%	0,06%	1,24E-03	249,180
0,1379	0,1379	0,13791	0,13828	0,00%	0,28%	9,38E-04	147,393
	0,2747	0,13793	0,27505	0,02%	0,13%	1,19E-03	231,651
	0,412	0,13795	0,41236	0,04%	0,09%	1,41E-03	292,006







Observação:

Houve dificuldade na moldagem do corpo de prova (falta de coesão). A amostra não resistiu à fase de condicionamento, aparentemente por se tratar de material com pouca coesão.

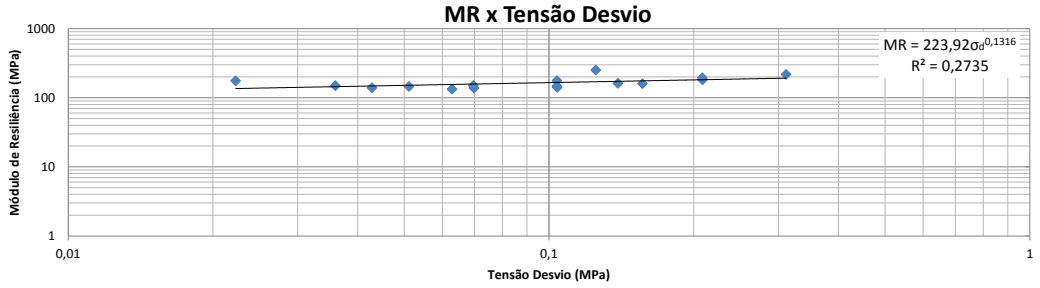
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
VIA 040 — UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.XXX

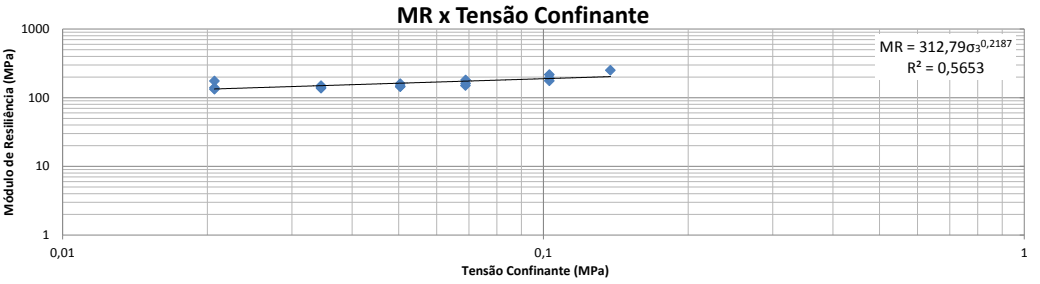
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
				Sub-base			

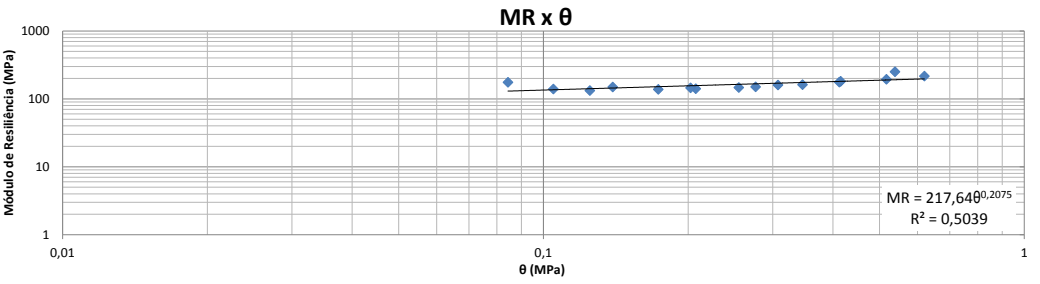
DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)													
IP		Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG		Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB													

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio (Média das 15 repetições por sequência)					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02070	0,02230	0,00%	7,75%	1,29E-04	175,136
0,0689	0,2068		0,0414	0,02069	0,04285	0,03%	3,50%	3,08E-04	139,338
0,1029	0,3090		0,0621	0,02070	0,06286	0,01%	1,22%	4,75E-04	132,294
		0,0345	0,0345	0,03450	0,03594	0,01%	4,19%	2,41E-04	149,186
			0,0689	0,03450	0,06986	0,01%	1,39%	5,08E-04	137,517
			0,1029	0,03450	0,10408	0,00%	1,14%	7,37E-04	141,292
		0,0504	0,0504	0,05040	0,05113	0,00%	1,45%	3,54E-04	144,657
			0,1029	0,05040	0,10389	0,00%	0,96%	7,09E-04	146,456
			0,1552	0,05040	0,15649	0,00%	0,83%	9,82E-04	159,378
		0,068	0,0689	0,06889	0,06962	1,32%	1,04%	4,64E-04	150,179
			0,1379	0,06890	0,13919	1,33%	0,93%	8,62E-04	161,448
			0,2068	0,06892	0,20861	1,35%	0,88%	1,15E-03	181,302
		0,1029	0,1029	0,10290	0,10388	0,00%	0,96%	5,90E-04	176,040
			0,2068	0,10290	0,20843	0,00%	0,79%	1,07E-03	193,951
			0,309	0,10290	0,31136	0,00%	0,77%	1,44E-03	216,467
		0,1379	0,1379	0,13790	0,12511	0,00%	9,28%	6,12E-04	250,741
			0,2747	0,13790	0,11963	0,00%	56,45%	7,14E-04	171,890
			0,412	0,13790	0,31559	0,00%	23,40%	1,72E-03	182,098







Observação:

Por apresentar desvio superior a 10 %, em relação ao valor esperado e definido pela norma, os valores referentes à 17ª e 18ª sequência de carregamento não foram incluídos na análise de regressão.

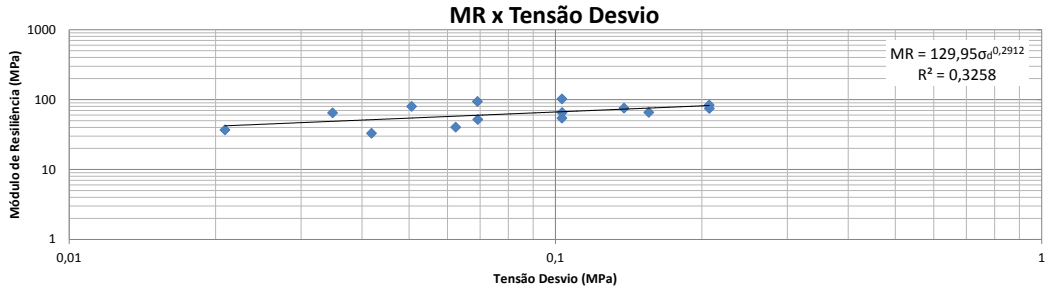
FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
	DATA	06/04/2015
	DOCUMENTO Nº	FO.RDT.XXX

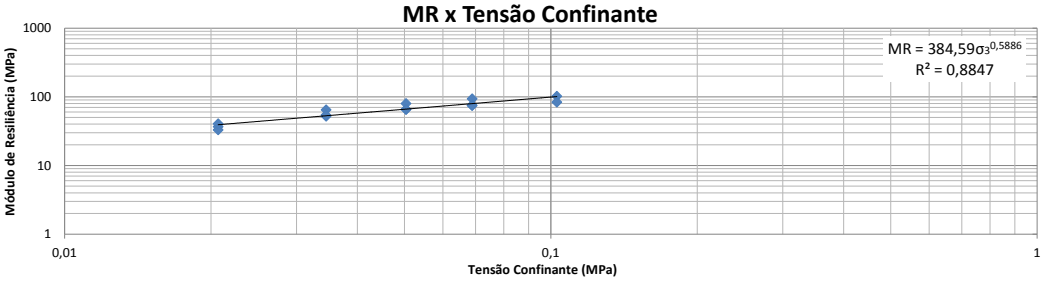
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
				Sub-leito			

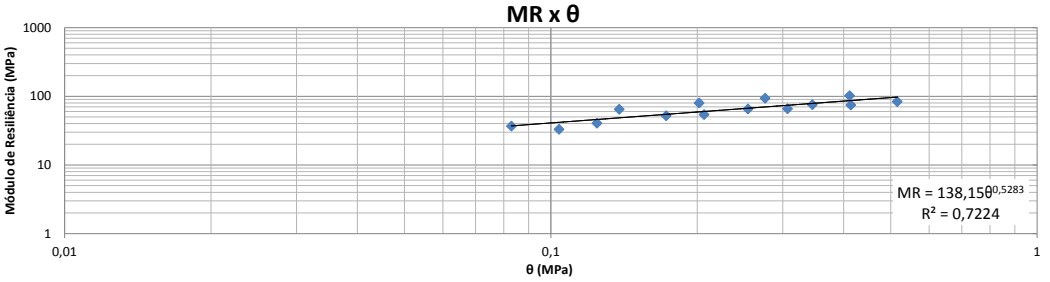
DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)													
IP		Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG		Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB													

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio (Média das 15 repetições por sequência)					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02070	0,02092	0,02%	1,04%	5,69E-04	36,789
0,0689	0,2068		0,0414	0,02070	0,04187	0,02%	1,14%	1,27E-03	32,907
0,1029	0,3090		0,0621	0,02070	0,06240	0,01%	0,48%	1,55E-03	40,353
		0,0345	0,0345	0,03450	0,03482	0,01%	0,91%	5,40E-04	64,521
			0,0689	0,03450	0,06925	0,01%	0,51%	1,33E-03	51,908
			0,1029	0,03450	0,10313	0,01%	0,23%	1,91E-03	54,064
		0,0504	0,0504	0,05040	0,05065	0,00%	0,49%	6,36E-04	79,694
			0,1029	0,05040	0,10321	0,00%	0,30%	1,58E-03	65,245
			0,1552	0,05041	0,15565	0,02%	0,29%	2,38E-03	65,490
		0,068	0,0689	0,06891	0,06914	1,33%	0,35%	7,39E-04	93,516
			0,1379	0,06889	0,13840	1,31%	0,36%	1,84E-03	75,300
			0,2068	0,06890	0,20731	1,33%	0,25%	2,78E-03	74,481
		0,1029	0,1029	0,10290	0,10313	0,00%	0,23%	1,01E-03	102,030
			0,2068	0,10289	0,20716	0,01%	0,17%	2,48E-03	83,438
			0,309						
		0,1379	0,1379						
			0,2747						
			0,412						







Observação:

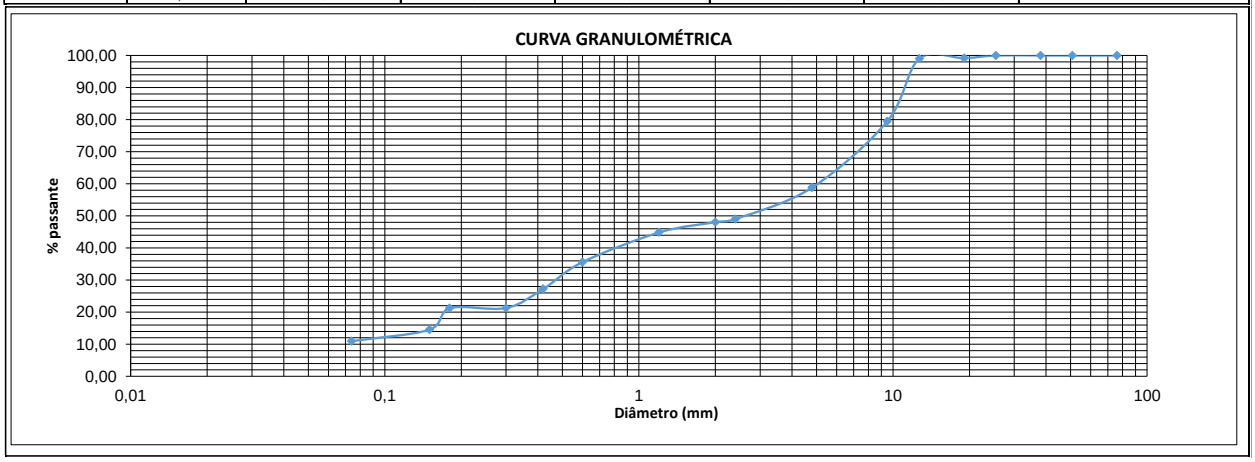
A amostra não resistiu à sequência de tensões de condicionamento. Além disso, resistiu apenas até a 14 ª sequência de carregamento completa.

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
50				**UA09**	Brita Graduada		Base	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	27	60	Pedregulho: acima 4,8 mm	41,20
Recipiente nº 5	Retido nº10	1038,40	C + S + A (g)	88,93	88,99	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	10,76
	Passando nº 10 úmida	961,60	C + S (g)	88,82	88,87	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	20,81
Retido nº 10	Peso da água	1,54	A = Água (g)	0,11	0,12	Areia Fina: entre nº 40 e 200	16,29
	Passando nº10 seca	960,065	C = Cápsula (g)	16,395	17,437	Passando nº 200	10,94
Recipiente nº: 9	Amostra Total Seca	1998,46	S = Solo (g)	72,425	71,433	TOTAL	100,00
	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	0,15	0,17	Retido: (nº 10 - nº 200)	37,10
	Amostra menor nº10 seca	199,68	Fator de Correção	0,9984			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0,00		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	16,80		0,84	0,84	99,16
1/2 pol	12,70	2,50		0,13	0,97	99,03
3/8 pol	9,50	390,10		19,52	20,49	79,51
nº 4	4,80	413,90		20,71	41,20	58,80
nº 8	2,40	195,40		9,78	50,97	49,03
nº 10	2,00	19,70		0,99	51,96	48,04
nº 16	1,20	13,30	6,66	3,20	55,16	44,84
nº 30	0,60	38,40	19,23	9,24	64,40	35,60
nº 40	0,42	34,80	17,43	8,37	72,77	27,23
nº 50	0,30	24,70	12,37	5,94	78,71	21,29
nº 80	0,18	0,00	0,00	0,00	78,71	21,29
nº 100	0,15	28,00	14,02	6,74	85,45	14,55
nº 200	0,074	15,00	7,51	3,61	89,06	10,94



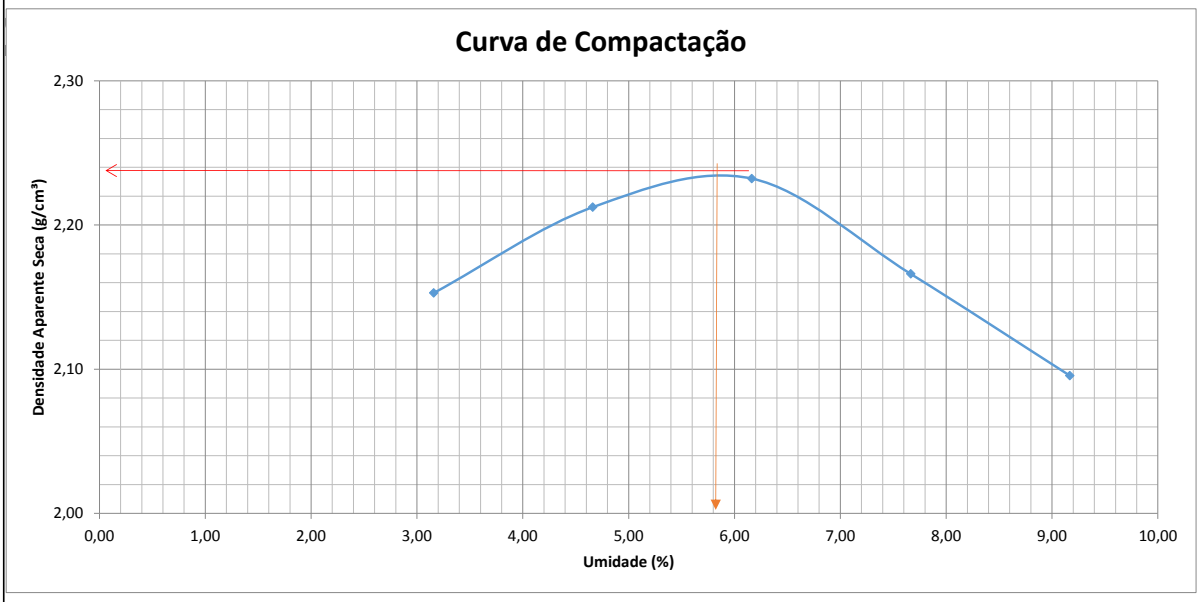
	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.001

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
50		UA09	Base	Brita graduada	-	29/02/2016

% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
	Modificado	55	**8.000,00**	7987,7	12,3	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											1	7	
C + S + A (g)											364,67	460,32	
C + S (g)											364,18	459,70	
A - ÁGUA (g)											0,5	0,6	
C - CÁPSULA (g)											50,68	52,28	
S - SOLO (g)											313,5	407,4	
UMIDADE (%)											0,2	0,2	
UMIDADE MÉDIA											0,2		
UMID. ADOTADA (%)	3,16		4,66		6,16		7,67		9,17		FATOR DE CORREÇÃO		
UMIDADE CALCULADA (%)	3,16		4,66		6,16		7,67		9,17		0,9985		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	2,153		2,212		2,232		2,166		2,096		Moldes		
COMPACTAÇÃO											N°	Peso	Volume
CILINDRO Nº	3		9		8		2		1		3	5530	2058
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240		360		480		600		720		9	5490	2051
ÁGUA ADICIONADA (%)	3		4,5		6		7,5		9		8	5495	2049
M + S + A (g)	10100		10240		10350		10325		10340		2	5465	2084
M - MOLDE (g)	5530		5490		5495		5465		5560		1	5560	2089
S + A (g)	4570		4750		4855		4860		4780		**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
VOL. CILINDRO (cm³)	2058		2051		2049		2084		2089		5,8		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,221		2,315		2,370		2,332		2,288		**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	2,156		2,216		2,236		2,169		2,099		2,239		



	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94	VERSÃO	00
		DATA	
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.004	

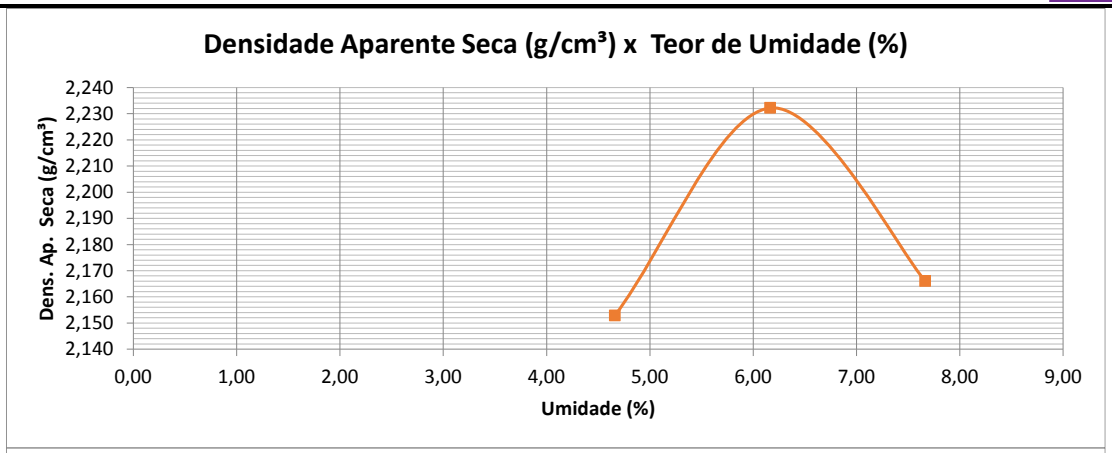
REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
50	Brita graduada	Base	UA09				

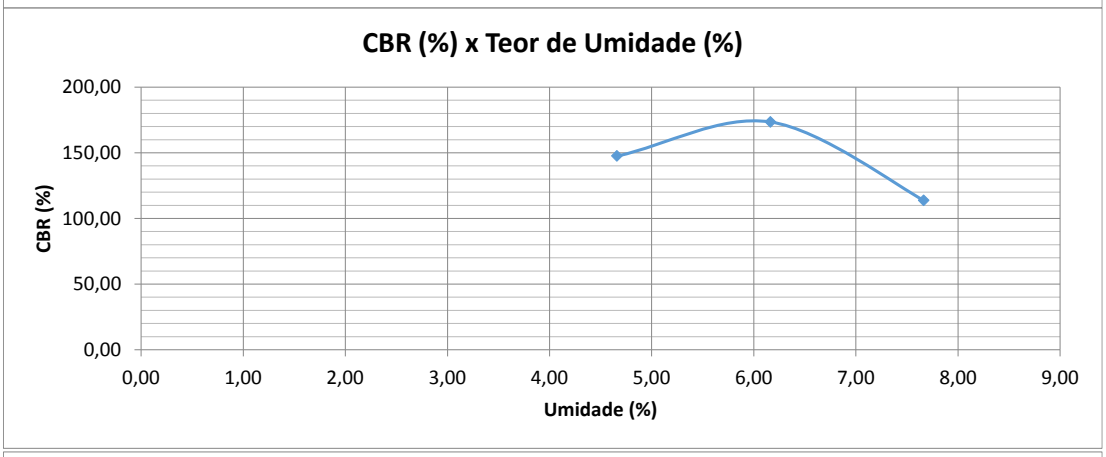
Cilindro nº		8		9		2					
Alturas dos CP´s		113,80		113,20		115,30					
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
24/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
25/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
26/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
27/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
28/03/16	15:30	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
Expansão Final (%)		0,00		0,00		0,00					

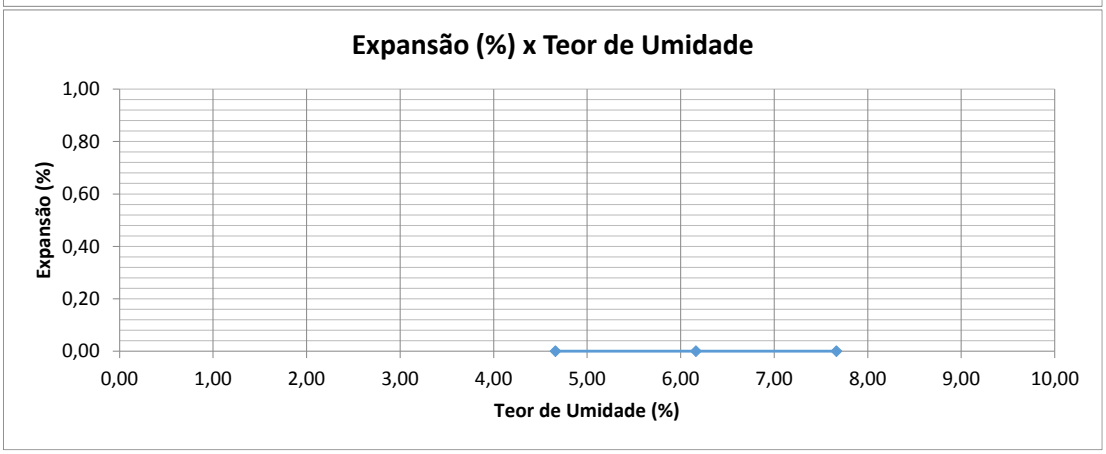
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

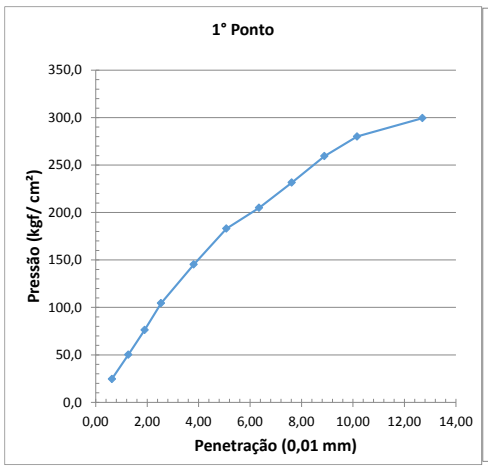
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel				0,0967
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	254	24,6	135	13,1	92	8,9				
1	1,27	520	50,3	336	32,5	214	20,7				
1,5	1,90	788	76,2	542	52,4	380	36,7				
2	2,54	1080	104,4	774	74,8	567	54,8				
3	3,81	1502	145,2	1235	119,4	903	87,3				
4	5,08	1894	183,1	1610	155,6	1242	120,1				
5	6,35	2120	204,9	1920	185,6	1540	148,9				
6	7,62	2395	231,5	2100	203,0	1870	180,8				
7	8,89	2684	259,5	2320	224,3	2098	202,8				
8	10,16	2898	280,1	2560	247,5	2320	224,3				
10	12,70	3098	299,5	2780	268,7	2670	258,1				

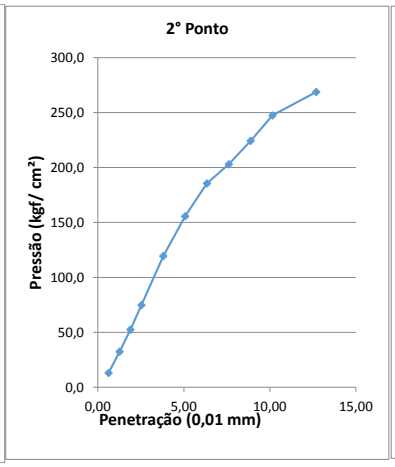
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		148,4		106,3		77,9				
I.S.C. 5,08 mm		173,5		147,5		113,8				

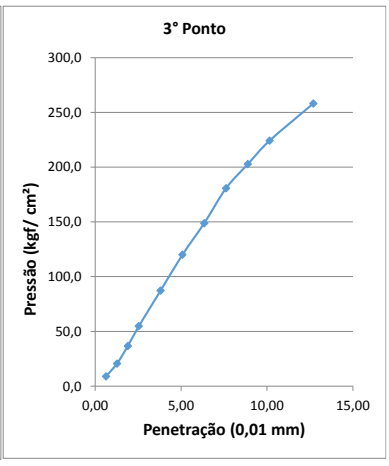

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,240
2,230
2,220
2,210
2,200
2,190
2,180
2,170
2,160
2,150
2,140
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
Umidade (%)


CBR (%) x Teor de Umidade (%)
CBR (%)
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade
Expansão (%)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
Teor de Umidade (%)

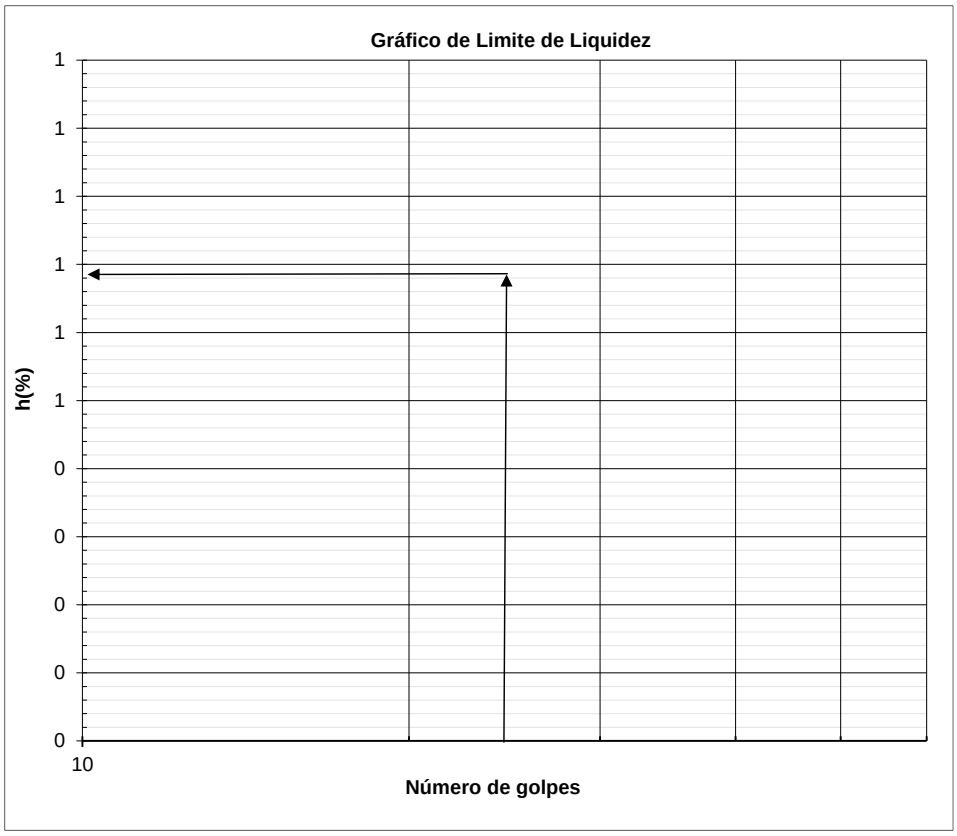

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
350,0
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
14,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
50	**UA09**		**Base**				**Guilherme**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)			NL					
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Nº de golpes								
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)			NP					
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)		
Limite de Plasticidade (LP)		
Índice de Plasticidade (IP)		NP

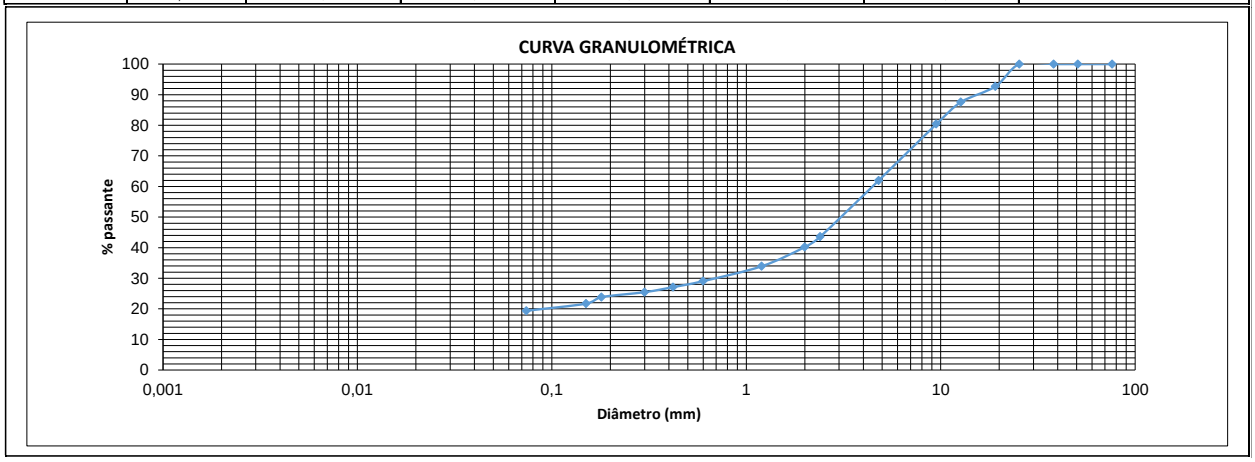


	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
49				**UA09**			SUB BASE	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	39	61	Pedregulho: acima 4,8 mm	38,03
Recipiente nº	Retido nº10	1167,30	C + S + A (g)	80,5	83,26	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	21,75
2	Passando nº 10 úmida	832,70	C + S (g)	76,73	79,5	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	13,11
Retido nº 10	Peso da água	47,53	A = Água (g)	3,77	3,76	Areia Fina: entre nº 40 e 200	7,72
1	Passando nº10 seca	785,167	C = Cápsula (g)	15,082	16,755	Passando nº 200	19,38
Recipiente nº:	Amostra Total Seca	1952,47	S = Solo (g)	61,648	62,745	TOTAL	100,00
	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	6,12	5,99	Retido: (nº 10 - nº 200)	20,83
	Amostra menor nº10 seca	188,58	Fator de Correção	0,9429			

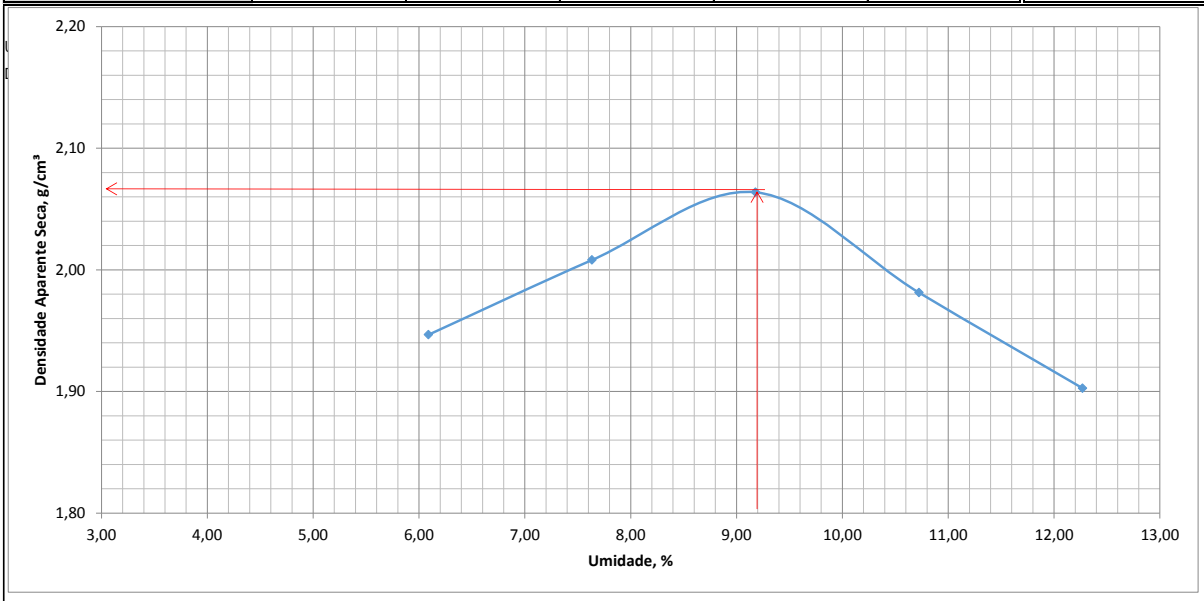
Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	0,00		0,00	0,00	100,00
3/4 pol	19,10	142,80		7,31	7,31	92,7
1/2 pol	12,70	100,00		5,12	12,44	87,6
3/8 pol	9,50	139,90		7,17	19,60	80,4
nº 4	4,80	359,90		18,43	38,03	62,0
nº 8	2,40	358,80		18,38	56,41	43,6
nº 10	2,00	65,90		3,38	59,79	40,2
nº 16	1,20	29,50	15,64	6,29	66,08	33,9
nº 30	0,60	22,80	12,09	4,86	70,94	29,1
nº 40	0,42	9,20	4,88	1,96	72,90	27,1
nº 50	0,30	7,70	4,08	1,64	74,54	25,5
nº 80	0,18	7,60	4,03	1,62	76,16	23,8
nº 100	0,15	10,00	5,30	2,13	78,30	21,7
nº 200	0,074	10,90	5,78	2,32	80,62	19,4



	FORMULÁRIO					PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NORMA DNIT 124/94					VERSÃO	00
						DATA	27/11/2015
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.001	

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA	Folha
49	UA 09		Subbase	Cascalho argiloso	-	29/02/2016	1
% RETIDO nº 4	**PROCTOR**	**ENERGIA**	**Solo Úmido (g)**	**Solo Seco (g)**	**Água**	**OPERADOR**	**FURO**
35,80%	Intermediário	26	**8.000,00**	7767,1	232,9	Gilson	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE											3,0		
	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											4	6	
C + S + A (g)											420,7	428,6	
C + S (g)											409,2	418,3	
A - ÁGUA (g)											11,4	10,3	
C - CÁPSULA (g)											49,25	52,00	
S - SOLO (g)											360,0	366,3	
UMIDADE (%)											3,2	2,8	
UMIDADE MÉDIA											FATOR DE CORREÇÃO		
UMID. ADOTADA (%)	6,09		7,63		9,18		10,72		12,27		0,9709		
UMIDADE CALCULADA (%)	6,09		7,63		9,18		10,72		12,27		Moldes		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,947		2,008		2,064		1,981		1,903		N°	Peso	Volume
COMPACTAÇÃO											1	5560	2089
CILINDRO Nº	1		11		17		16		19		11	5535	2066
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240		360		480		600		720		17	5475	2046
ÁGUA ADICIONADA (%)	3		4,5		6		7,5		9		16	5555	2060
M + S + A (g)	9900		10000		10085		10075		9865		19	5485	2050
M - MOLDE (g)	5555		5535		5475		5555		5485		**UMIDADE ÓTIMA (%)**		
S + A (g)	4315		4465		4610		4520		4380		9,2		
VOL. CILINDRO (cm³)	2089		2066		2046		2060		2050		**DENS. SECA MÁX. (g/cm³)**		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,065		2,161		2,253		2,194		2,136		2,073		



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94	VERSÃO	00
		DATA	
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.004	

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
49	Cascalho argiloso	Sub base	UA09				Guilherme

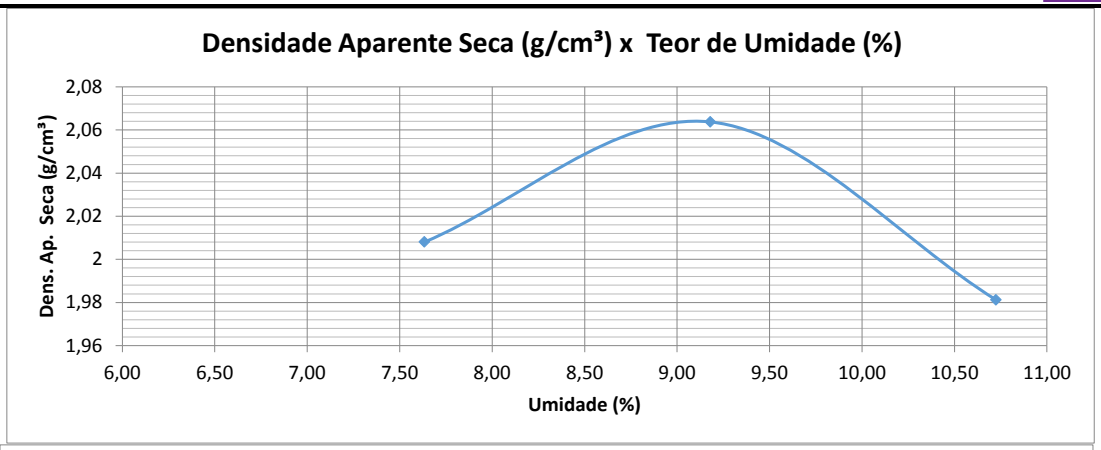
Cilindro nº	17	11	16		
Alturas dos CP´s	113,20	113,40	113,40		

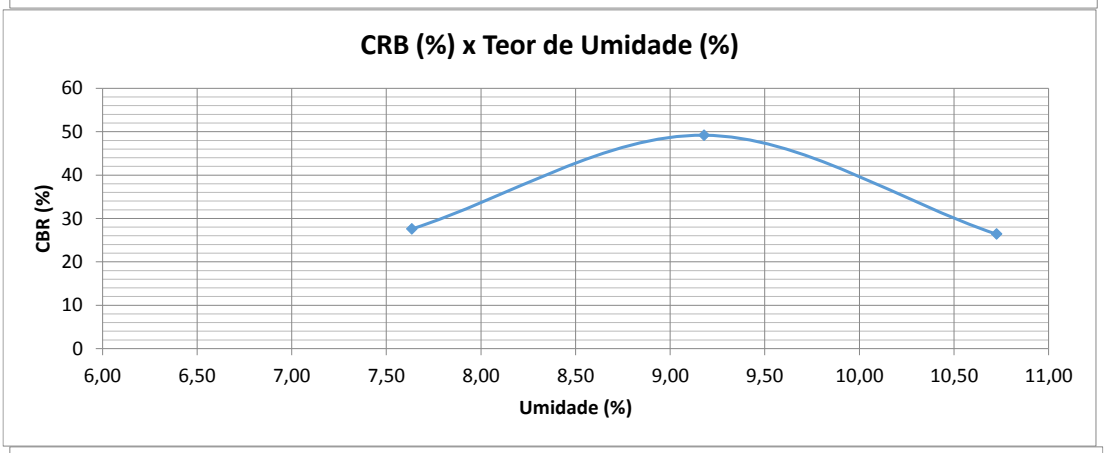
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
08/03/16	13:40	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
09/03/19	13:40	2,02	0,02	2,02	0,02	2,00	0,00				
09/03/22	13:40	2,02	0,00	2,02	0,00	2,00	0,00				
09/03/25	13:40	2,03	0,01	2,05	0,03	2,01	0,01				
10/03/25	13:40	2,03	0,00	2,05	0,00	2,01	0,00				
Expansão Final (%)		0,03		0,04		0,01					

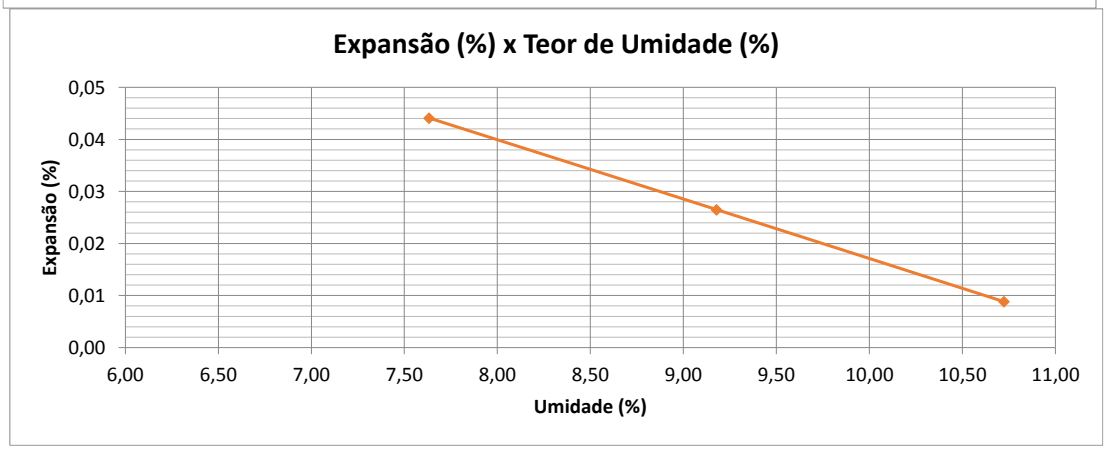
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

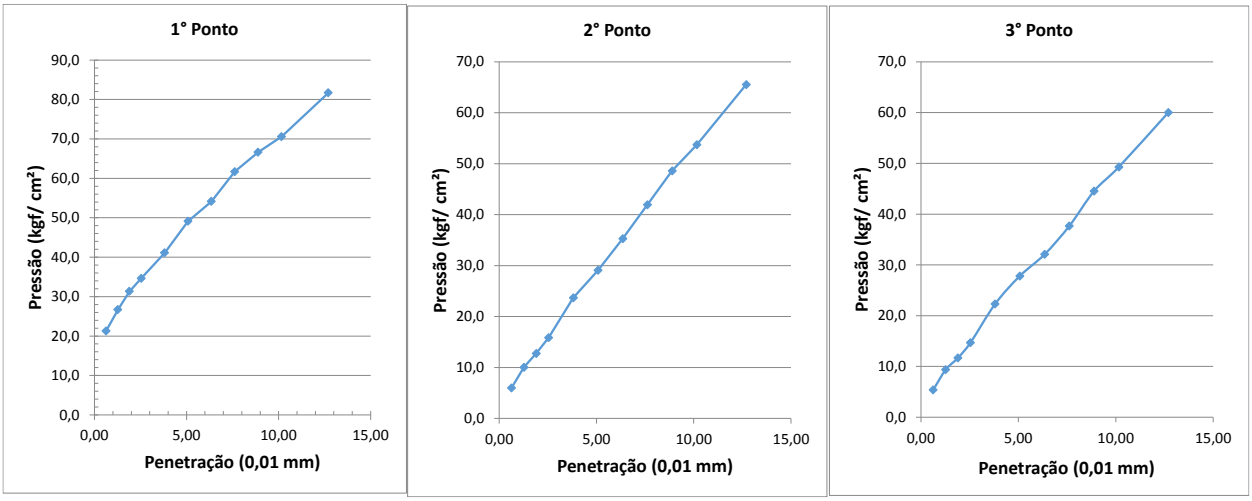
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel				0,0967
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	220	21,3	62	6,0	56	5,4				
1	1,27	276	26,7	104	10,1	97	9,4				
1,5	1,90	324	31,3	132	12,8	121	11,7				
2	2,54	358	34,6	164	15,9	152	14,7				
3	3,81	425	41,1	245	23,7	231	22,3				
4	5,08	508	49,1	301	29,1	288	27,8				
5	6,35	560	54,1	365	35,3	332	32,1				
6	7,62	638	61,7	434	42,0	390	37,7				
7	8,89	689	66,6	503	48,6	461	44,6				
8	10,16	730	70,6	556	53,7	510	49,3				
10	12,70	845	81,7	678	65,5	621	60,0				

ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		49,2		22,5		20,9				
I.S.C. 5,08 mm		46,5		27,6		26,4				


Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,08
2,06
2,04
2,02
2
1,98
1,96
6,00
6,50
7,00
7,50
8,00
8,50
9,00
9,50
10,00
10,50
11,00
Umidade (%)


CRB (%) x Teor de Umidade (%)
CBR (%)
60
50
40
30
20
10
0
6,00
6,50
7,00
7,50
8,00
8,50
9,00
9,50
10,00
10,50
11,00
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade (%)
Expansão (%)
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0,00
6,00
6,50
7,00
7,50
8,00
8,50
9,00
9,50
10,00
10,50
11,00
Umidade (%)

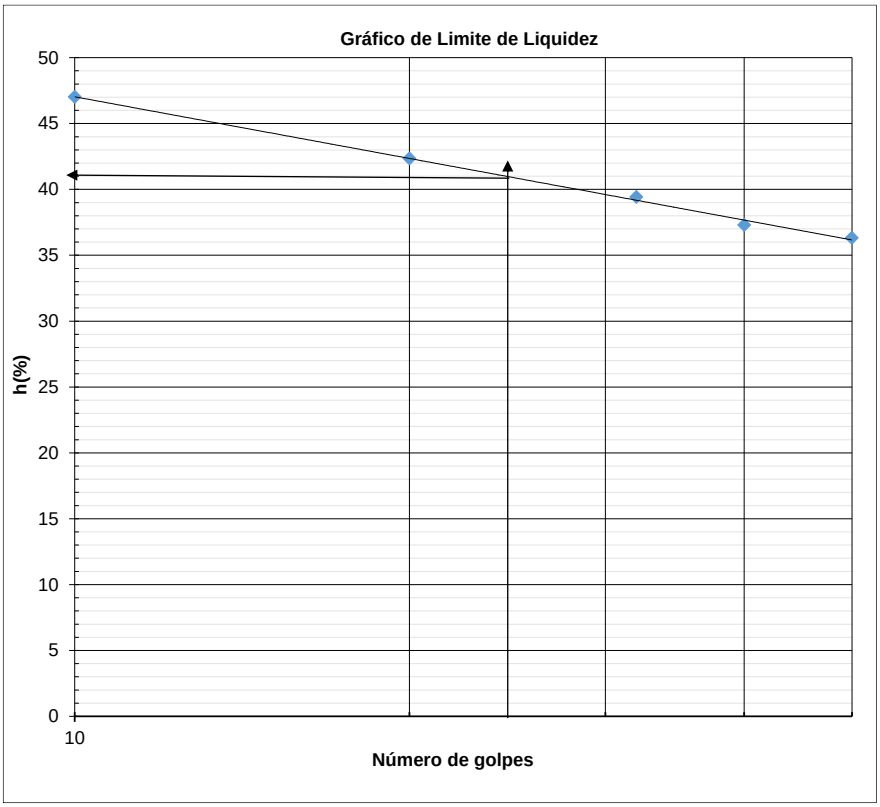

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
90,0
80,0
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)
2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)
3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
70,0
60,0
50,0
40,0
30,0
20,0
10,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA Nº		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
49					**UA 09**		**Guilherme**	

LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº	19	51	93	37	7			
Cápsula+Solo Úmido (g)	16,38	18,26	16,31	18,39	18,51			
Cápsula+Solo Seco (g)	13,96	15,29	13,59	15,26	15,27			
Nº de golpes	50	40	32	20	10			
Peso da Água (g)	2,42	2,97	2,72	3,13	3,24			
Peso da Cápsula (g)	7,30	7,33	6,69	7,87	8,38			
Peso do Solo Seco (g)	6,665	7,964	6,898	7,393	6,891			
Teor de Umidade (%)	36,31	37,29	39,43	42,34	47,02			

	LIMITE DE PLASTICIDADE							
Cápsula nº	8	101	106	94	87			
Cápsula+Solo Úmido (g)	8,37	8,27	8,32	8,86	9,41			
Cápsula+Solo Seco (g)	8,15	8,09	8,12	8,67	9,19			
Peso da Água (g)	0,22	0,18	0,2	0,19	0,22			
Peso da Cápsula (g)	7,18	7,29	7,22	7,80	8,22			
Peso do Solo Seco (g)	0,97	0,805	0,903	0,867	0,971			
Teor de Umidade (%)	22,70	22,36	22,15	21,91	22,66			
Umidade Média	22,36							
Limite Superior	23,47	Limite Inferior		21,24				
Verificação dos Limites	22,70	22,36	22,15	21,91	22,66			

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)	41,8	
Limite de Plasticidade (LP)	22,36	2,15
Índice de Plasticidade (IP)	19,44	



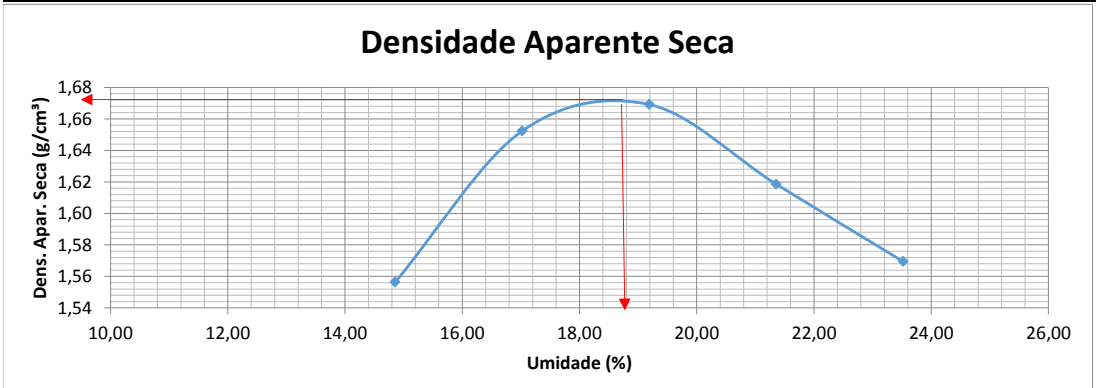
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
	ENSAIO DE CBR NORMA DNER-ME 049/94	VERSÃO	00
		DATA	
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.004	

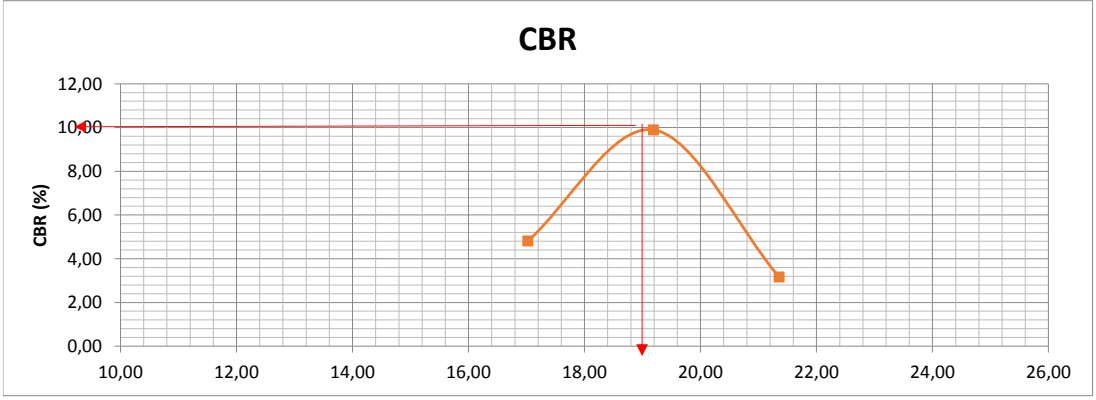
REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
48	Argila silt, arenosa vermelha	Sub-base			Normal		Gilson

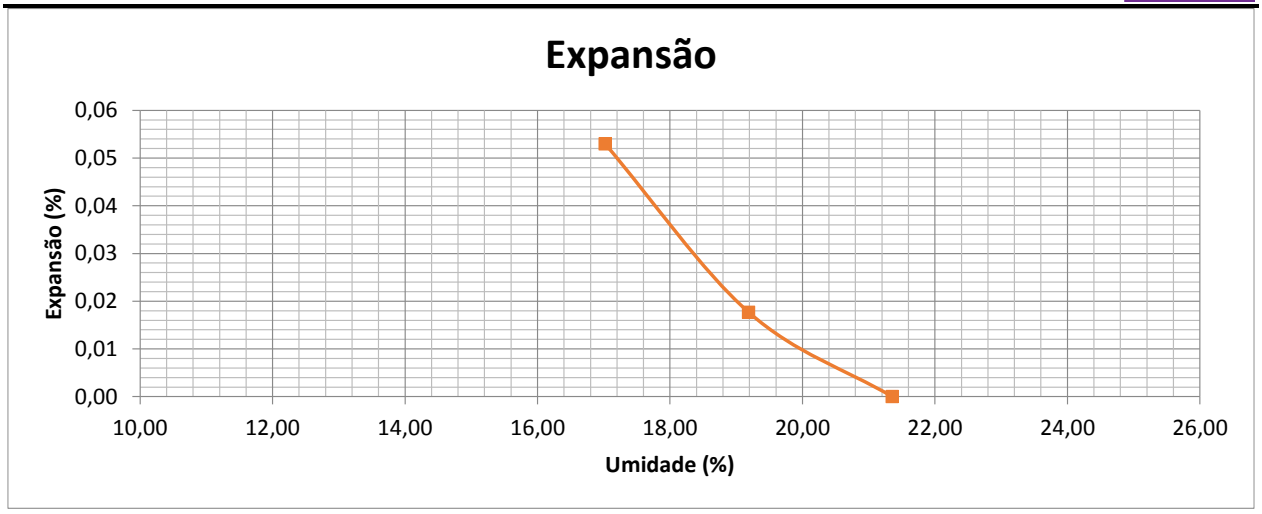
Cilindro nº		18		20		6					
Alturas dos CP´s		113,20		113,30		113,20					
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
29/02/16	14:50	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
01/03/16	14:50	2,01	0,01	2,02	0,02	2,00	0,00				
02/03/16	14:50	2,02	0,01	2,03	0,01	2,00	0,00				
03/03/16	14:50	2,02	0,00	2,05	0,02	2,00	0,00				
04/03/16	14:50	2,02	0,00	2,06	0,01	2,00	0,00				

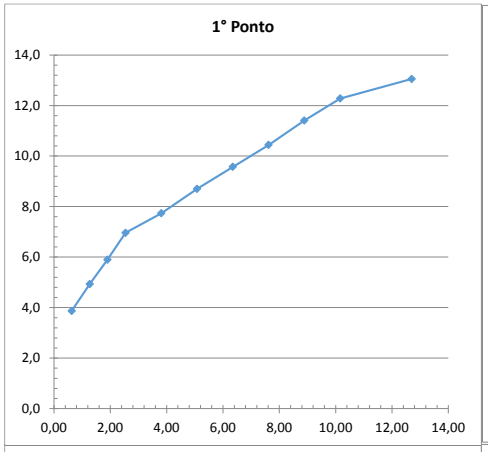
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

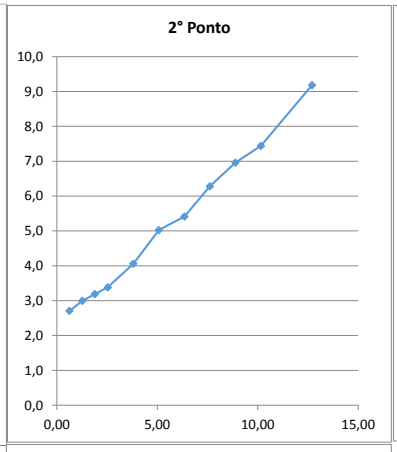
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel			0,0967	
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	40	3,9	28	2,7	17	1,6				
1	1,27	51	4,9	31	3,0	19	1,8				
1,5	1,90	61	5,9	33	3,2	21	2,0				
2	2,54	72	7,0	35	3,4	23	2,2				
3	3,81	80	7,7	42	4,1	25	2,4				
4	5,08	90	8,7	52	5,0	28	2,7				
5	6,35	99	9,6	56	5,4	31	3,0				
6	7,62	108	10,4	65	6,3	36	3,5				
7	8,89	118	11,4	72	7,0	37	3,6				
8	10,16	127	12,3	77	7,4	40	3,9				
10	12,70	135	13,1	95	9,2	45	4,4				
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA		Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm			9,9		4,8		3,2				
I.S.C. 5,08 mm			8,2		4,8		2,6				

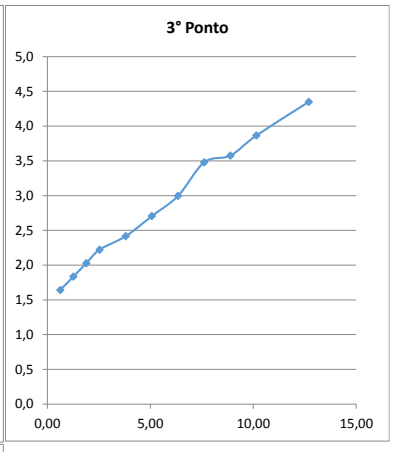


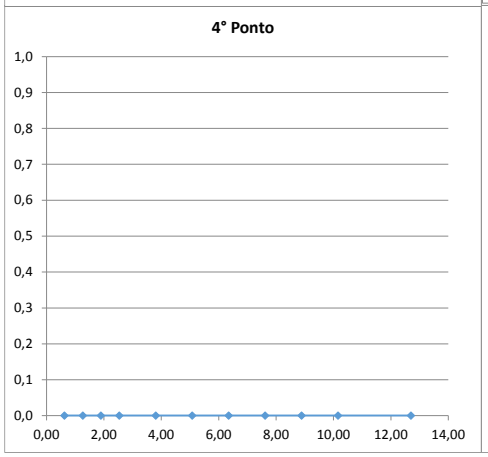


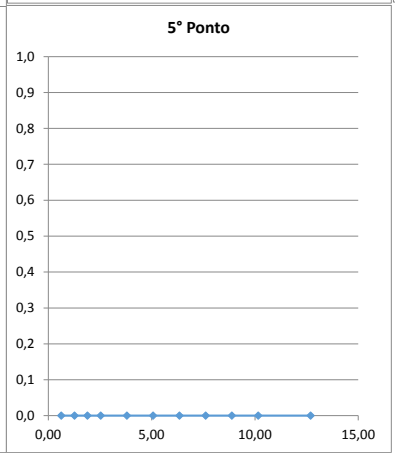

Expansão
Expansão (%)
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0,00
10,00
12,00
14,00
16,00
18,00
20,00
22,00
24,00
26,00
Umidade (%)


1° Ponto
14,0
12,0
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
14,00


2° Ponto
10,0
9,0
8,0
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00


3° Ponto
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00

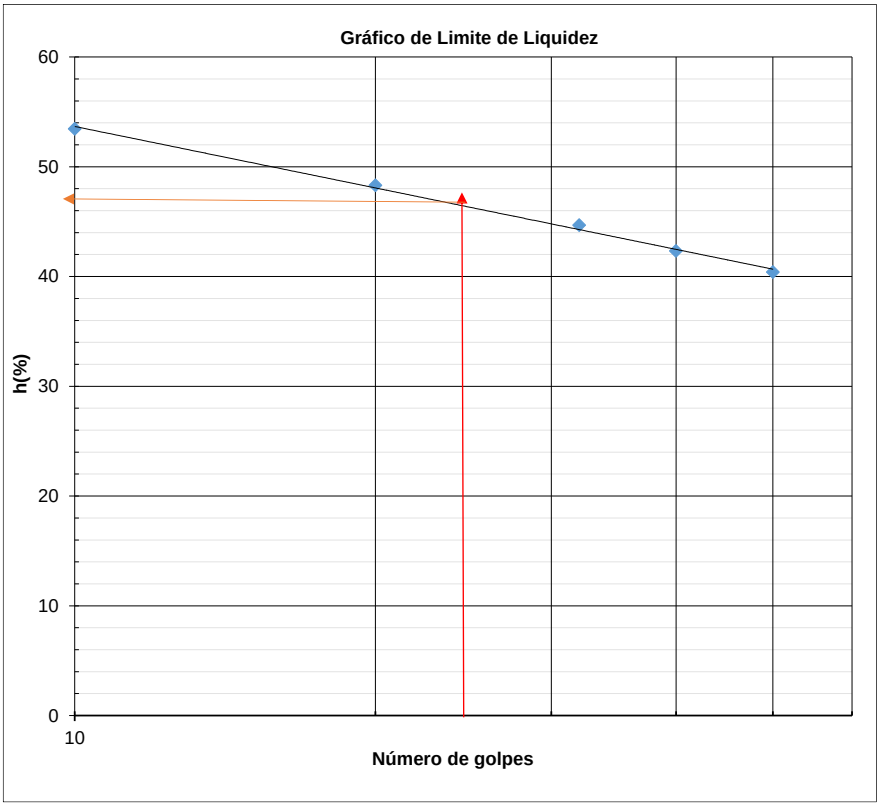

4° Ponto
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
14,00


5° Ponto
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°		1/1
						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
48					**UA 09**		**Guilherme**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº	16	107	17	92	102			
Cápsula+Solo Úmido (g)	15,75	18,73	17,61	17,39	18,73			
Cápsula+Solo Seco (g)	13,35	15,51	14,51	14,36	15,08			
Nº de golpes	50	40	32	20	10			
Peso da Água (g)	2,4	3,22	3,1	3,03	3,65			
Peso da Cápsula (g)	7,41	7,90	7,57	8,09	8,25			
Peso do Solo Seco (g)	5,941	7,607	6,938	6,272	6,83			
Teor de Umidade (%)	40,40	42,33	44,68	48,31	53,44			

	LIMITE DE PLASTICIDADE							
Cápsula nº	98	52	91	65	33			
Cápsula+Solo Úmido (g)	7,62	8,52	8,38	8,69	8,3			
Cápsula+Solo Seco (g)	7,36	8,31	8,13	8,41	8,03			
Peso da Água (g)	0,26	0,21	0,25	0,28	0,27			
Peso da Cápsula (g)	6,34	7,45	7,08	7,29	6,87			
Peso do Solo Seco (g)	1,02	0,86	1,047	1,124	1,161			
Teor de Umidade (%)	25,54	24,42	23,88	24,91	23,26			
Umidade Média	24,40							
Limite Superior	25,62	Limite Inferior		23,18				
Verificação dos Limites	25,54	24,42	23,88	24,91	23,26			

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)	46,5	
Limite de Plasticidade (LP)	24,40	2,10
Índice de Plasticidade (IP)	22,10	



	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
VIA 040 — UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DENSIDADE "*in situ*"	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.XXX	

NORMA DNER 092/94

DATA:	18/02/2016	KM INICIAL:	UA01	KM FINAL:	
SENTIDO:		FAIXA:		OPERADOR:	

1. Peso Frasco Antes	7000	7000	7000	
2. Peso Frasco Depois	5025	4975	4530	
3. Peso Areia Deslocada	1975	2025	2470	
4. Peso Areia no Cone*	488	488	488	
5. Peso Areia no Furo	1487	1537	1982	
6. Densidade da areia (g/cm³) *	1,414	1,414	1,414	
7. Volume do Furo (cm³) - 5/6	1052	1087	1402	

* DADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO

UMIDADES - h	BASE			SUB-BASE			SUB-LEITO					
Cápsula Nº.	60	4		37	34		55	10				
Cáp. + Solo + Água (g)	113,86	117,48		99,4	104,53		97,36	99,87				
Cápsula + Solo (g)	110,68	114,52		92,77	97,42		84,71	86,69				
Cápsula (g)	17,437	17,84		16,373	16,334		16,288	15,793				
Água (g)	3,18	2,96		6,63	7,11		12,65	13,18				
Solo Seco (g)	93,243	96,68		76,40	81,09		68,422	70,897				
Umidade %	3,41%	3,06%		8,68%	8,77%		18,49%	18,59%				
8. Umidade Média %	3,24%			8,72%			18,54%					
Furo Nº.												
9. Peso Total do Material do Furo (g)	2520			2505			2780					
10. Densidade Úmida (g/cm³) - 9/7	2,396			2,305			1,983					
11. Dens. Apar. Solo Seco (g/cm³) - 10/8	2,321			2,120			1,673					
Profundidade do Furo (cm)	18			17			19					
Camada	BASE			SUB-BASE			SUBLEITO					

Obs.:

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
VIA 040 — UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO MANCHA DE AREIA	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.xxx	

NORMA RT 03-25

PISTA:	BR 040											
KM	Bordo	Sentido	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Volume areia (mm³)	Diâmetro Médio Ds (mm)	Altura média Hs (mm)	OBS
UA09 -40m	BD	Sul	230	245	247	250	240		25000	242,4	0,54	
UA09 -20m	BE	Sul	275	295	290	280	278		25000	283,6	0,40	
UA09 +0m	BD	Sul	250	237	263	260	242		25000	250,4	0,51	
UA09 +20m	BE	Sul	260	260	255	245	245		25000	253	0,50	
UA09 +40m	BD	Sul	230	275	265	260	235		25000	253	0,50	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
VIA 040 — UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA HD 15/87 e HD 36/87

PISTA:	BR 040								
KM	Bordo	Sentido	L1	L2	L3	L4	L5	Média	OBS.:
UA 9 -40 m	Direito	Sul	46	60	55	67	69	59,4	38°C
UA 9 -20 m	Esquerdo	Sul	50	57	69	58	58	58,4	38°C
UA 9	Direito	Sul	50	46	45	60	54	51,0	38°C
UA 9 +20 m	Esquerdo	Sul	43	54	46	55	50	49,6	38°C
UA 9 +40 m	direito	Sul	53	60	62	59	60	58,8	38°C

	FORMULÁRIO	PAGINA N°		1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO TRELIÇA	VERSÃO		00
		DATA		
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.		

NORMA DNIT 006/2003-PRO

PISTA:

Data	KM	Bordo	Sentido	Leitura (mm)	OBS.:
23/02/2016	UA09 -40m	BD	Sul	6	
23/02/2016	UA09 -40m	BE	Sul	7	
23/02/2016	UA09 -20m	BE	Sul	8	
23/02/2016	UA09 -20m	BD	Sul	6	
23/02/2016	UA09	BD	Sul	8	
23/02/2016	UA09	BE	Sul	6	
23/02/2016	UA09 +20m	BD	Sul	6	
23/02/2016	UA09 +20m	BE	Sul	4	
23/02/2016	UA09 +40m	BD	Sul	5	
23/02/2016	UA09 +40m	BE	Sul	5	

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DEFLEXÃO NORMA DNIT 133/2010 - ME	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.013	

DATA:	18/fev	KM INICIAL	97+550/GO	SENTIDO:	SUL	K VIGA	2
FAIXA:	1	KM FINAL	97+750/GO	OPERADOR:		GILSON	

CÁLCULO DA BACIA DE DEFLEXÃO

UA 09 - 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,01	0,03	0,07	0,08	0,1	0,11	0,14	0,13	26,000	
		Deflexão (0,01mm)	26,0	24,0	20,0	12,0	10,0	6,0	4,0	-2,0	0,0		
UA 09 - 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	53,000
		Leitura (mm)	0	0,02	0,06	0,09	0,12	0,15	0,2	0,37	0,4	80,000	
		Deflexão (0,01 mm)	80,0	76,0	68,0	62,0	56,0	50,0	40,0	6,0	0,0		
UA 09	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,05	0,08	0,09	0,1	0,08	0,1	0,15	0,15	30,000	
		Deflexão (0,01mm)	30,0	20,0	14,0	12,0	10,0	14,0	10,0	0,0	0,0		
UA 09	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	44,000
		Leitura (0,01 mm)	0	0,05	0,09	0,11	0,13	0,17	0,23	0,39	0,29	58,000	
		Deflexão (mm)	58,0	48,0	40,0	36,0	32,0	24,0	12,0	-20,0	0,0		
UA 09 + 100 m	BE	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	MÉDIA D_0
		Leitura (mm)	0	0,04	0,06	0,09	0,11	0,12	0,11	0,16	0,18	36,000	
		Deflexão (0,01mm)	36,0	28,0	24,0	18,0	14,0	12,0	14,0	4,0	0,0		
UA 09 + 100 m	BD	Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0	34,000
		Leitura (mm)	0	0,01	0,05	0,08	0,09	0,1	0,12	0,17	0,16	32,000	
		Deflexão (0,01mm)	32,0	30,0	22,0	16,0	14,0	12,0	8,0	-2,0	0,0		

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
VIA 040 UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
48	Argila arenosa	Subleito	UA 09		708			Guilherme

PERMEÂMETRO Nº.	2		Corpo de Prova Nº.		5
Constante do Ensaio	2,08	2,3.(a.L)/A	Comprimento (cm)	L =	12,7
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	Área (cm²)	A =	78,54
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	Diâmetro (cm)	f =	10
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	Peso (g)	Ph =	1960,6
Volume do Corpo de Prova (cm³)	997,46	V = L.A	OBS.:		
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	1,97	gh = Ph/v			
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	1,65	gs = gh/(1+h)			
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1			
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})			

TEOR DE UMIDADE							Molde	Nº.	
	ANTES			DEPOIS			Diâmetro (cm)	Φ=	10
Cápsula Nº.	12	13		54	58		Área (cm²)	A =	78,54
Solo Úmido + Tara (g)	98,65	100,06		88,76	83,03		Bureta	Nº.	1
Solo Seco + Tara (g)	85,1	86,5					Diâmetro (cm)	Φ =	2,67
Tara (g)	13	15,1					Área (cm²)	a =	5,60
Solo Seco (g)	72,1	71,4					K_T = 5,13E-07		K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)
Água (g)	13,55	13,56							
Umidade - h	18,8%	19,0%					K_{20} = 4,73E-07		K_{20} = C_K.K_T
Média	18,9%								

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (ºC)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
08:44	8520	80	305	303	1,0066007	0,0028572	6,98E-07	19	1,025	7,16E-07
11:06	7140	78	303	302	1,0033113	0,0014357	4,19E-07	19	0,867	3,63E-07
13:05	5640	77	302	301	1,0033223	0,0014404	5,32E-07	26	0,867	4,61E-07
14:39	7440	76	301	300	1,0033333	0,0014452	4,05E-07	26	0,867	3,51E-07

Obs.:

	FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
49	Cascalho arenoso	Sub base	UA 09		708			

PERMEÂMETRO Nº.			Corpo de Prova Nº.		5
Constante do Ensaio		2,3.(a.L)/A	Comprimento (cm)	L =	12,7
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	Área (cm²)	A =	78,54
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	Diâmetro (cm)	f =	10
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	Peso (g)	Ph =	1960,6
Volume do Corpo de Prova (cm³)		V = L.A	OBS.:		
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)		gh = Ph/v			
Densidade do Solo Seco (g/cm³)		gs = gh/(1+h)			
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1			
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})			

TEOR DE UMIDADE							Molde	Nº.	
	ANTES			DEPOIS			Diâmetro (cm)	Φ=	10
Cápsula Nº.	40	80		60	94		Área (cm²)	A =	78,54
Solo Úmido + Tara (g)	127,42	119,47					Bureta	Nº.	1
Solo Seco + Tara (g)	123,63	115,82					Diâmetro (cm)	Φ =	2,67
Tara (g)	15,01	18,79					Área (cm²)	a =	5,60
Solo Seco (g)	108,62	97,03					K_T = 5,82E-06		K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)
Água (g)	3,57	3,65							
Umidade - h	3,3%	3,8%					K_{20} = 5,21E-06		K_{20} = C_K.K_T
Média	3,5%								

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (ºC)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
08:35	8400	80	177	167	1,0598802	0,0252568	6,26E-06	19	1,025	6,42E-06
	9300	70	167	157	1,0636943	0,0268168	6,00E-06	19	0,867	5,21E-06
	10300	60	157	147	1,0680272	0,0285823	5,78E-06	26	0,867	5,01E-06
	11300	50	147	137	1,0729927	0,0305968	5,64E-06	26	0,867	4,89E-06
	12600	40	137	127	1,0787402	0,0329168	5,44E-06	28	0,828	4,50E-06

Obs.:

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
VIA 040 UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE PERMEABILIDADE A CARGA CONSTANTE	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.XXX

NORMA NBR 13292

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
50	Brita Graduada	Base	UA 09					Gilson

DADOS PARA CÁLCULO

				Obs.:
Densidade Real dos Grãos	g/cm³		δ	
Índice de Vazios Máximo	-		$e_{máx.}$	
Índice de Vazios Mínimo	-		$e_{mín.}$	
Volume do Corpo de Prova	cm³		V = L x A	
Densidade do Solo Úmido	g/cm³	1,68	$\gamma h = \frac{Ph}{V}$	
Densidade do Solo Seco	g/cm³		$\gamma s = \frac{\gamma h}{1+h}$	
Índice de Vazios	-		$e_{nat} = \frac{\delta}{\gamma_s} - 1$	
Compacidade Relativa	%		$CR = \frac{e_{máx} - e_{nat}}{e_{máx} - e_{mín}}$	

TEOR DE UMIDADE

Cápsula	Nº	67	90				
Solo úmido + Tara	g	126,67	134,42				
Solo seco + Tara	g	126,64	134,39				
Tara	g						
Solo seco	g	126,64	134,39				
Água	g	0,03	0,03				
Umidade →h	%	0,0002369	0,0002232				
Média	%	0,00023006					

Corpo de prova	Nº	
Comprimento (cm)	L=	15,76
Área (cm²)	A=	186,75
Diâmetro (cm)	φ=	15,42
Volume (cm³)	V=	
K_T =	1,4570	$K_T = \frac{\Delta V \times L}{\Delta t \times H \times A}$
K_{20} =	1,3550	$K_{20} = C_K \times K_T$

Volume Escoado ΔV (cm³)	CARGA H (cm)	TEMPO minuto	TEMPO segundo	TEMPO Δt (seg)	T °C	Coeficiente de Permeabilidade KT (cm/seg)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cm/seg)
100	0,5			11,21	23	1,505635984	0,93	1,400241465
100	0,5			10,81	23	1,561348694	0,93	1,452054286
100	0,5			10,7	23	1,577399942	0,93	1,466981946
100	0,5			10,8	23	1,562794387	0,93	1,45339878
100	0,5			10,82	23	1,559905673	0,93	1,450712276
100	0,5			10,58	23	1,595291057	0,93	1,483620683
100	0,5			10,36	23	1,629167894	0,93	1,515126142
100	0,5			10,5	23	1,607445656	0,93	1,49492446
100	0,7			10	23	1,205584242	0,93	1,121193345
100	0,7			9,89	23	1,218993167	0,93	1,133663645
100	0,7			9,8	23	1,230188002	0,93	1,144074842
100	0,7			9,8	23	1,230188002	0,93	1,144074842

Obs.:

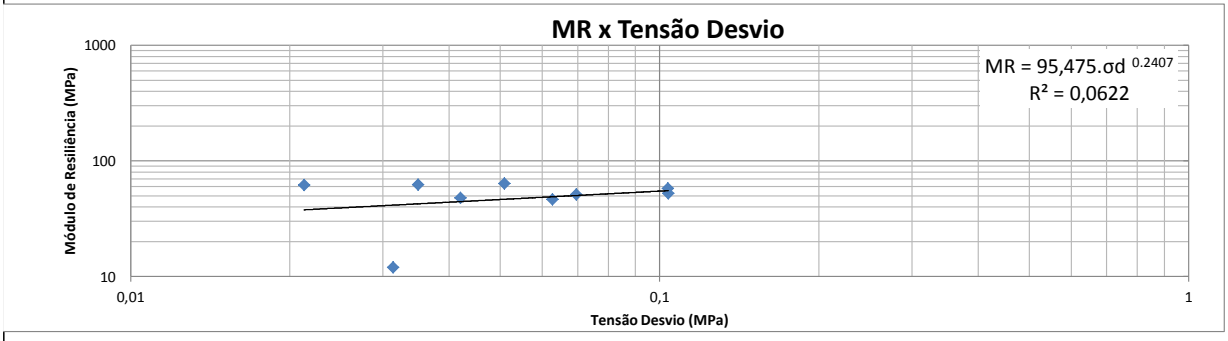
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

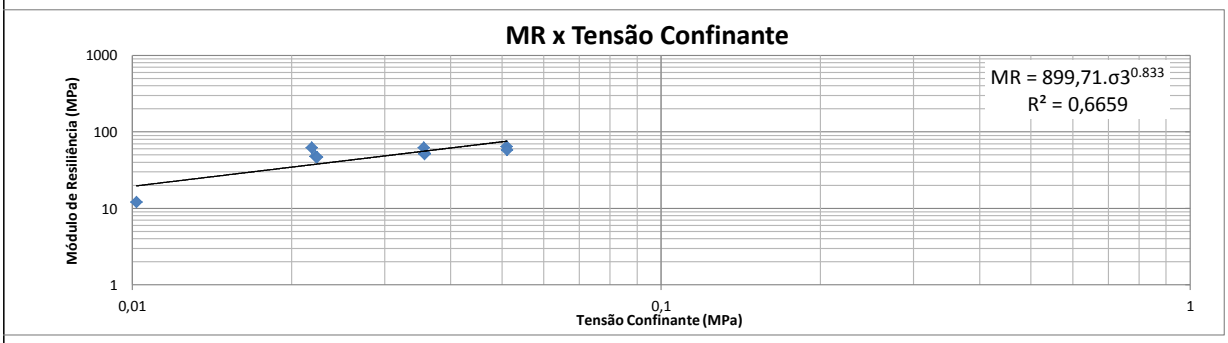
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
48			708+650 (UA09)	Subleito	Argila siltosa arenosa		10/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	22,4	100	100	100	99,65	98,05	97,19	96,51	91,64	83,28	73,65	58,47	52,15
IP	22,1	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	9	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-6	18,80		1,67		8,90		0,01			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02183	0,02127	5,47%	2,74%	3,42E-04	62,178
0,0689	0,2068		0,0414	0,02219	0,04203	7,20%	1,52%	8,78E-04	47,868
0,1029	0,3090		0,0621	0,02236	0,06276	8,04%	1,07%	1,34E-03	46,672
		0,0345	0,0345	0,03555	0,03494	3,04%	1,26%	5,60E-04	62,409
			0,0689	0,03566	0,06960	3,36%	1,02%	1,36E-03	51,181
			0,1029	0,03567	0,10381	3,38%	0,88%	1,97E-03	52,589
		0,0504	0,0504	0,05105	0,05089	1,29%	0,98%	7,95E-04	64,052
			0,1029	0,05113	0,10361	1,45%	0,69%	1,78E-03	58,101
			0,1552	0,01018	0,03136	395,23%	79,79%	5,20E-04	12,054
		0,068	0,0689						
			0,1379						
			0,2068						
		0,1029	0,1029						
			0,2068						
			0,309						
		0,1379	0,1379						
			0,2747						
			0,412						





Observação:

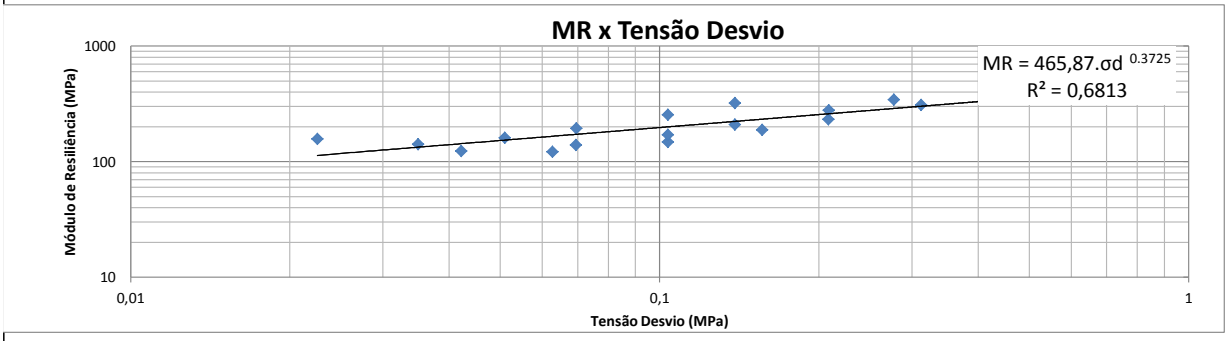
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

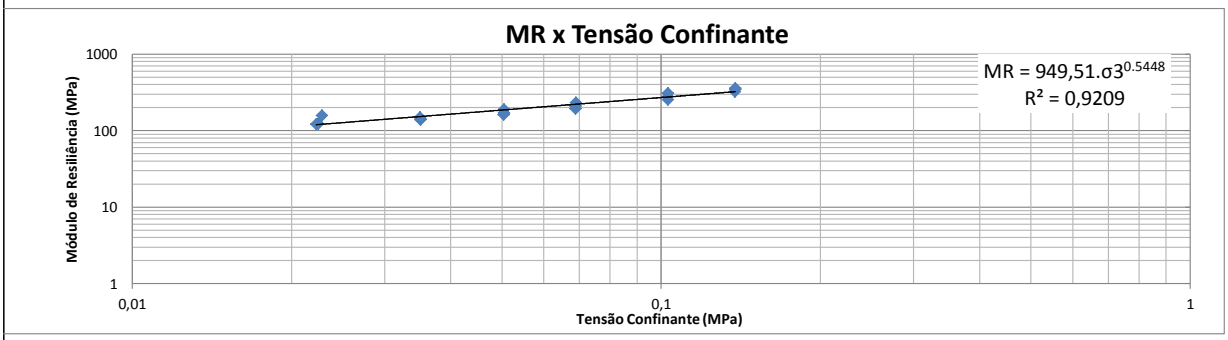
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
49			708+650	Sub-base	Cascalho arenoso		09/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	100	92,69	87,56	80,4	61,97	40,21	33,92	29,06	27,1	25,46	21,7	19,38
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-2-4	9,20		2,07		49,19		0,03			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02282	0,02256	10,24%	8,98%	1,44E-04	157,801
0,0689	0,2068		0,0414	0,02245	0,04218	8,47%	1,88%	3,42E-04	123,458
0,1029	0,3090		0,0621	0,02227	0,06276	7,58%	1,07%	5,14E-04	122,002
		0,0345	0,0345	0,03509	0,03496	1,72%	1,34%	2,47E-04	141,682
			0,0689	0,03503	0,06947	1,52%	0,83%	4,99E-04	139,275
			0,1029	0,03498	0,10374	1,39%	0,81%	6,98E-04	148,678
		0,0504	0,0504	0,05039	0,05093	0,02%	1,05%	3,16E-04	161,339
			0,1029	0,05040	0,10368	0,00%	0,76%	6,07E-04	170,698
			0,1552	0,05041	0,15637	0,02%	0,76%	8,26E-04	189,322
		0,068	0,0689	0,06888	0,06958	1,29%	0,98%	3,58E-04	194,285
			0,1379	0,06890	0,13880	1,32%	0,65%	6,64E-04	209,033
			0,2068	0,06897	0,20853	1,43%	0,84%	8,94E-04	233,340
		0,1029	0,1029	0,10287	0,10359	0,03%	0,67%	4,05E-04	255,906
			0,2068	0,10292	0,20865	0,02%	0,89%	7,47E-04	279,257
			0,309	0,10291	0,31228	0,01%	1,06%	1,01E-03	309,462
		0,1379	0,1379	0,13787	0,13880	0,02%	0,65%	4,31E-04	321,799
			0,2747	0,13793	0,27737	0,02%	0,97%	8,04E-04	345,023
			0,412	0,13790	0,41533	0,00%	0,81%	1,15E-03	360,091





Observação:

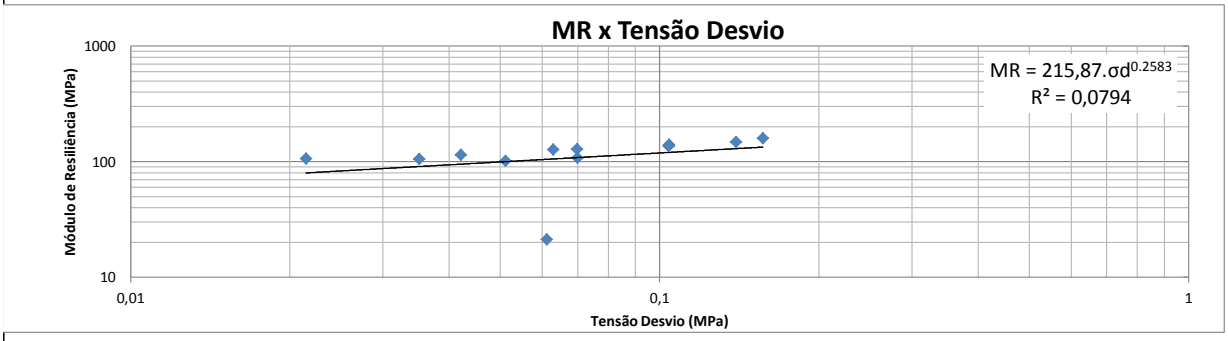
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

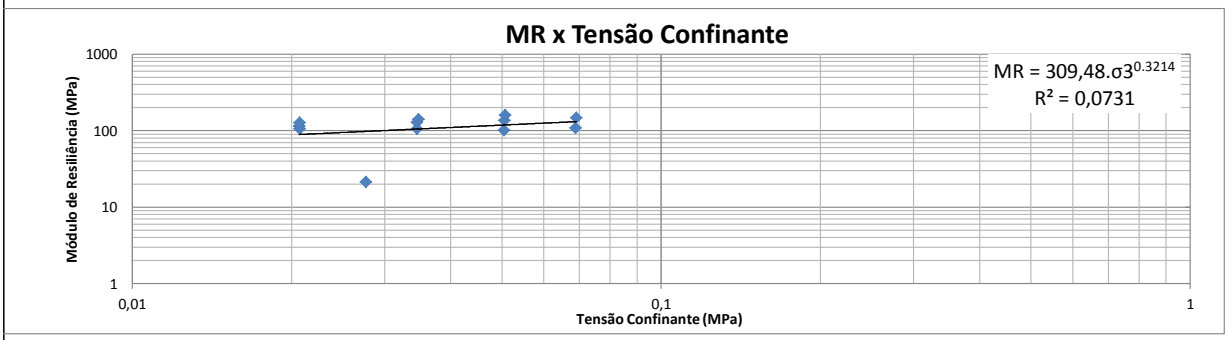
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
50			708+650 (UA09)	Base	Brita graduada		09/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

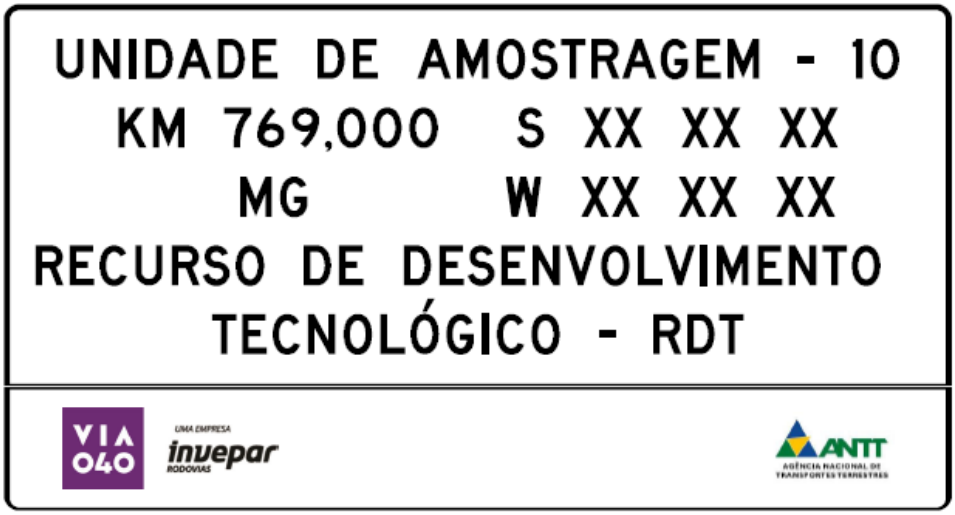
Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	100	99,16	99,03	79,51	58,8	48,04	44,84	35,6	27,23	21,29	14,55	10,94
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-1-b	5,80		2,24		173,48		0,00			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02070	0,02147	0,02%	3,71%	2,02E-04	106,178
0,0689	0,2068		0,0414	0,02070	0,04212	0,01%	1,75%	3,66E-04	115,252
0,1029	0,3090		0,0621	0,02071	0,06298	0,04%	1,41%	4,94E-04	127,398
		0,0345	0,0345	0,03450	0,03512	0,00%	1,79%	3,32E-04	105,808
			0,0689	0,03451	0,06985	0,02%	1,38%	5,42E-04	128,850
			0,1029	0,03473	0,10424	0,67%	1,30%	7,41E-04	140,755
		0,0504	0,0504	0,05041	0,05113	0,02%	1,45%	5,01E-04	101,967
			0,1029	0,05056	0,10406	0,31%	1,12%	7,61E-04	136,743
			0,1552	0,05072	0,15677	0,63%	1,01%	9,83E-04	159,542
		0,068	0,0689	0,06891	0,06989	1,34%	1,44%	6,44E-04	108,484
			0,1379	0,06909	0,13935	1,61%	1,05%	9,40E-04	148,309
			0,2068	0,02766	0,06120	145,86%	70,41%	1,21E-03	21,304
		0,1029	0,1029						
			0,2068						
			0,309						
		0,1379	0,1379						
			0,2747						
			0,412						





Observação:


UNIDADE DE AMOSTRAGEM - 10
KM 769,000 S XX XX XX
MG W XX XX XX
RECURSO DE DESENVOLVIMENTO
TECNOLÓGICO - RDT
VIA 040
UMA EMPRESA
invepar
RODOVIAS
ANTT
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS - VIA 040								
CAMPANHA DE CAMPO 01 - JANEIRO/FEVEREIRO - 2016								
QUADRO RESUMO								
UA 10		Km 769/MG			Camada			
					CA	Base	Sub-Base	Subleito
ENSAIOS DE LABORATÓRIO	Caracterização	Granulometria	% passando	3 "	-	100,00	CAMADA NÃO COLETADA	CAMADA NÃO COLETADA
				2 "	-	100,00		
				1 1/2 "	-	100,00		
				1 "	-	97,56		
				3/4 "	-	94,87		
				1/2 "	-	94,87		
				3/8 "	-	91,28		
				nº 4	-	90,36		
				nº 8	-	79,21		
				nº 10	-	74,86		
				nº 16	-	63,55		
				nº 30	-	46,83		
				nº 40	-	38,27		
				nº 50	-	31,62		
				nº 80	-	31,62		
				nº 100	-	22,45		
				nº 200	-	18,24		
		Espesura da camada (cm)			12,00	28,00		
		Material			CBUQ	Cascalho Arenoso		
		L.L.			-	NL		
		L.P.			-	NP		
		I.P.			-	0		
		I.G.			-	0		
		Classificação H.R.B.			-	A-1-b		
	Compactação	Dens. seca máx (g/cm³)			-	2,120		
		Umidade ótima (%)			-	7,60		
		CBR (%)			-	90,22		
		Expansão (%)			-	0,04		
	Módulo de Resiliência (Mpa)				-	-		
	Permeabilidade (cm/s)				-	4,79E-04		
ENSAIOS *IN SITU*	Umidade natural (%)				-	6,13	CAMADA NÃO COLETADA	CAMADA NÃO COLETADA
	Densidade úmida (g/cm³)				-	2,267		
	Dens. seca máx (g/cm³)				-	2,136		
	Grau de Compactação (%)				-	100,7%		
	DCP - mm/golpe				-	-		
	Mancha de Areia - Hs (mm)				0,56	-		
	Pêndulo Britânico - VRD				76,92	-		
	Medição de ATR (mm)				2,60	-		
	Permeabilidade *in situ* (cm/s)				-	-		
	Deflexão máxima - VB (0,01 mm)				-10100,00	-		

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.
O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se IP ≤ LL -30, será A-7-5; Se IP > LL - 30, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0{,}2 \cdot a + 0{,}005 \cdot a \cdot c + 0{,}01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

a = p - 35	(se p > 75%, adota-se 75 e se p < 35%, adota-se 35)	a varia de 0 a 40 e $0{,}2 \cdot a$ varia de 0 a 8.
b = p - 15	(se p > 55%, adota-se 55 e se p < 15%, adota-se 15)	b varia de 0 a 40 e $0{,}01 \cdot b \cdot d$ varia de 0 a 8.
c = LL - 40	(se LL > 60%, adota-se 60 e se LL < 40%, adota-se 40)	c varia de 0 a 20 e $0{,}005 \cdot a \cdot c$ varia de 0 a 4.
d = IP - 10	(se IP > 30, adota-se 30 e se IP < 10, adota-se 10)	d varia de 0 a 20 e $0{,}01 \cdot b \cdot d$ varia de 0 a 8.

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	3	18,23895
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

AUXILIAR PARA CÁLCULO DO IG SUB-BASE		
ÍNDICE	VALOR	P/LL/IP
a= #200 - 35	0	35
b= #200 -15	0	15
c = LL - 40	0	40
d= IP - 10	0	10

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

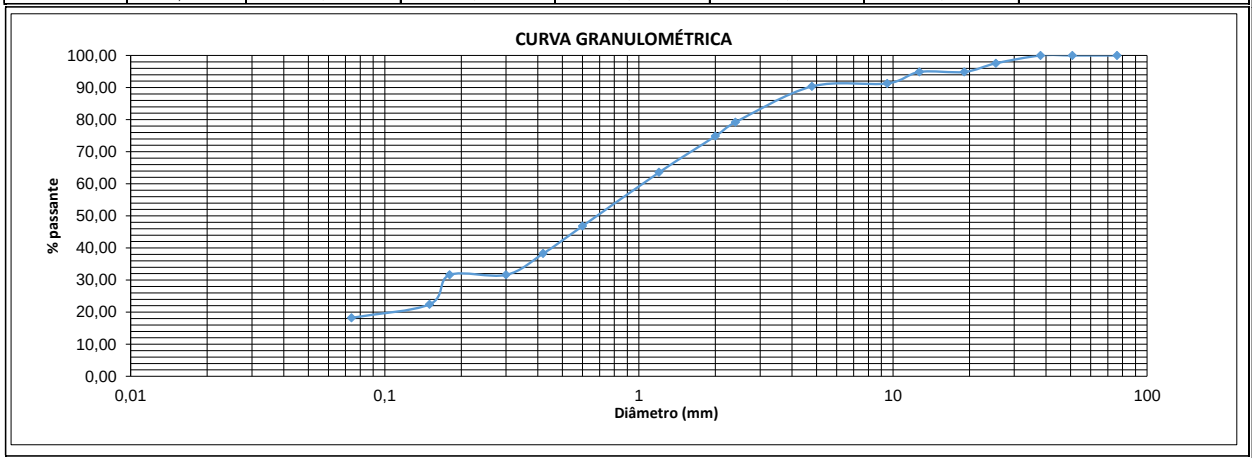
Classificação Geral	**Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)**							**Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)**			
	A-1		**A-3**	**A-2**				**A-4**	**A-5**	**A-6**	**A-7**
Grupo	**A-1-a**	**A-1-b**		**A-2-4**	**A-2-5**	**A-2-6**	**A-2-7**				**A-7-5 / A-7-6**
Peneiração: % que passa:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40											
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Indice de Plasticidade											
IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO GRANULOMETRIA SIMPLES NORMA DNER-ME 054/97	VERSÃO	00
		DATA	27/11/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.005

REGISTRO Nº	TRECHO	UF	KM	PROCEDÊNCIA	MATERIAL	PROFUND. (m)	CAMADA	OPERADOR
47		MG	769	**UA10**	Casc. Arenoso		Base	Guilherme

Amostra menor nº 10	AMOSTRA TOTAL SECA (g)		UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
	Amostra Total Úmida	2.000,00	Cápsula nº	6	54	Pedregulho: acima 4,8 mm	9,64
Recipiente nº 4	Retido nº10	501,30	C + S + A (g)	96,65	85,61	Areia Grossa: entre 4,8 e 2,0 mm	15,50
	Passando nº 10 úmida	1498,70	C + S (g)	96,34	85,36	Areia Média: entre 2,0 e 0,42 mm	36,60
Retido nº 10	Peso da água	5,69	A = Água (g)	0,31	0,25	Areia Fina: entre nº 40 e 200	20,03
	Passando nº10 seca	1493,01	C = Cápsula (g)	15,019	19,698	Passando nº 200	18,24
Recipiente nº: 5	Amostra Total Seca	1994,31	S = Solo (g)	81,321	65,662	TOTAL	100,00
	Amostra menor nº10 úmida	200,00	Umidade (%)	0,38	0,38	Retido: (nº 10 - nº 200)	56,62
	Amostra menor nº10 seca	199,24	Fator de Correção	0,9962			

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	48,70		2,44	2,44	97,56
3/4 pol	19,10	53,60		2,69	5,13	94,87
1/2 pol	12,70	0,00		0,00	5,13	94,87
3/8 pol	9,50	71,60		3,59	8,72	91,28
nº 4	4,80	18,30		0,92	9,64	90,36
nº 8	2,40	222,50		11,16	20,79	79,21
nº 10	2,00	86,60		4,34	25,14	74,86
nº 16	1,20	30,10	15,11	11,31	36,45	63,55
nº 30	0,60	44,50	22,33	16,72	53,17	46,83
nº 40	0,42	22,80	11,44	8,57	61,73	38,27
nº 50	0,30	17,70	8,88	6,65	68,38	31,62
nº 80	0,18	0,00	0,00	0,00	68,38	31,62
nº 100	0,15	24,40	12,25	9,17	77,55	22,45
nº 200	0,074	11,20	5,62	4,21	81,76	18,24



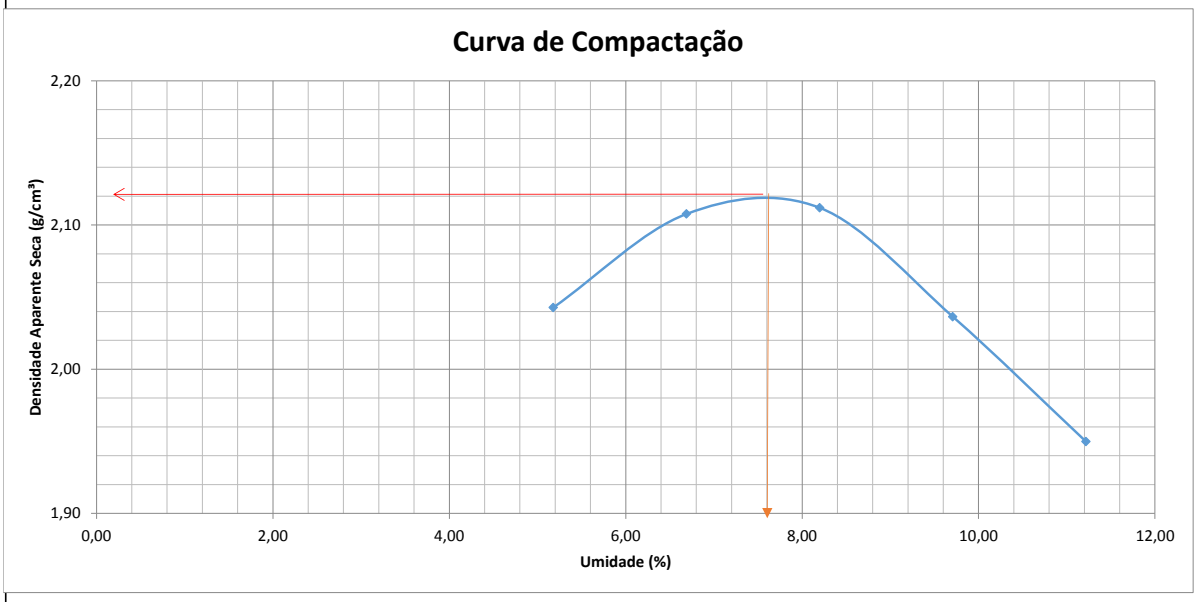
	FORMULÁRIO					PAGINA Nº	1/1
VIA 040 UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO					VERSÃO	00
						DATA	27/11/2015
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.001	

REGISTRO Nº	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
47	UA10	769+000	BASE	CASC. SILTOSO ROSA	-	31/03/2016

% RETIDO nº 4	PROCTOR	ENERGIA	Solo Úmido (g)	Solo Seco (g)	Água	OPERADOR	FURO
4,70%	MODIFICADO	55	**8.000,00**	7948,3	51,7	GILSON	

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	1		2		3		4		5		UMID. HIGROSCÓPICA		
CÁPSULA Nº											1	3	
C + S + A (g)											560,90	499,20	
C + S (g)											557,70	496,20	
A - ÁGUA (g)											3,2	3,0	
C - CÁPSULA (g)											76,70	77,77	
S - SOLO (g)											481,0	418,4	
UMIDADE (%)											0,7	0,7	
UMIDADE MÉDIA											0,7		
UMID. ADOTADA (%)	5,22		6,73		8,24		9,75		11,26		FATOR DE CORREÇÃO		
UMIDADE CALCULADA (%)	5,18		6,69		8,20		9,71		11,22		0,9931		
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	2,043		2,108		2,112		2,036		1,950		Moldes		
COMPACTAÇÃO											N°	Peso	Volume
CILINDRO Nº	15		14		6		18		11		11	5535	2066
ÁGUA ADICIONADA (ml)	360		480		600		720		840		15	5460	2048
ÁGUA ADICIONADA (%)	4,5		6		7,5		9		10,5		14	5270	2057
M + S + A (g)	9860		9895		10215		9820		10015		6	5515	2057
M - MOLDE (g)	5460		5270		5515		5255		5535		18	5255	2043
S + A (g)	4400		4625		4700		4565		4480		UMIDADE ÓTIMA (%)		
VOL. CILINDRO (cm³)	2048		2057		2057		2043		2066		7,6		
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,149		2,249		2,285		2,234		2,169		DENS. SECA MÁX. (g/cm³)		
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	2,056		2,121		2,126		2,050		1,963		2,120		



FORMULÁRIO

ENSAIO DE CBR

NORMA DNER-ME 049/94

PAGINA Nº	1/1
VERSÃO	00
DATA	
DOCUMENTO Nº	FO.RDT.004

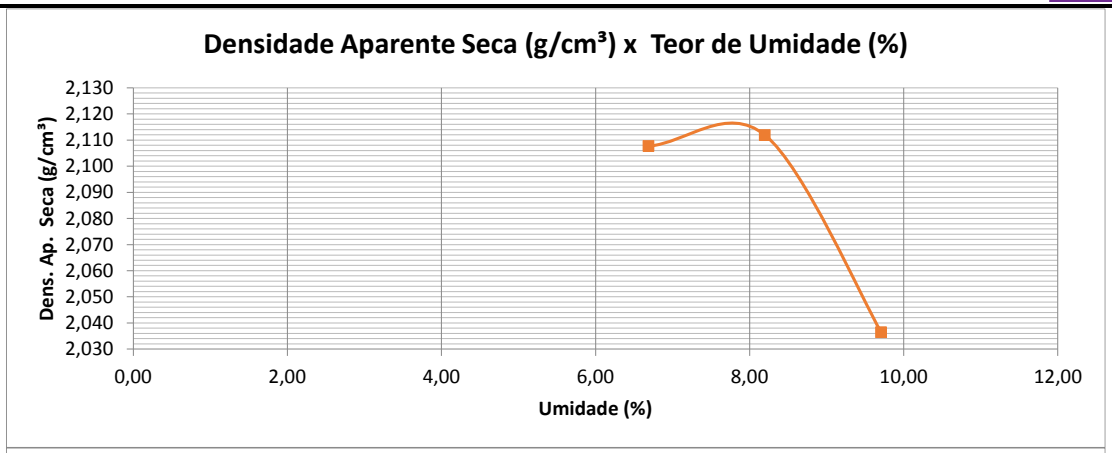
REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCED.	ESTACA	ENERGIA	PROF.(M)	OPERADOR
47	Cascalho Siltoso	Base	UA10	769+000	55		Guilherme

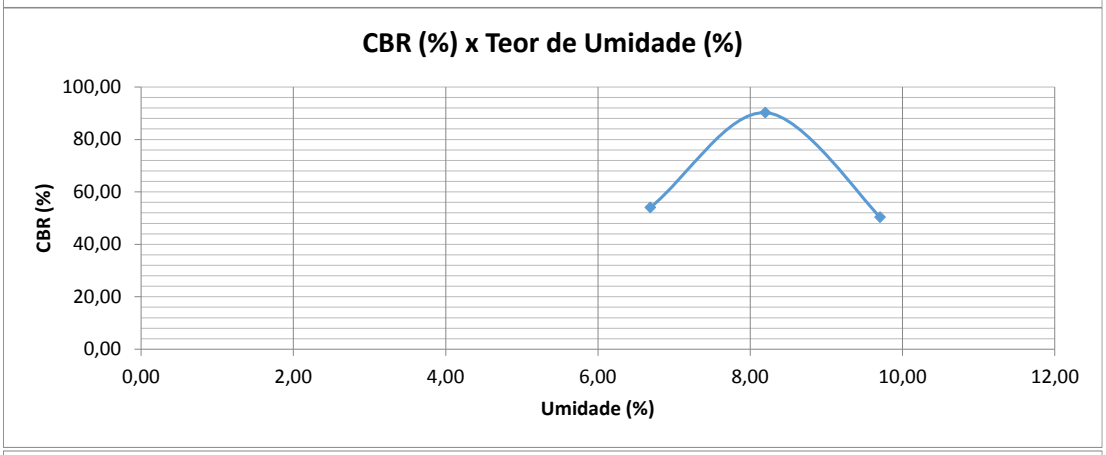
Cilindro nº		14		6		18					
Alturas dos CP´s		177,80		177,80		177,80					
Data	Hora	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)	Leitura (0,01mm)	Expansão (%)
31/04/16	16:10	2,00	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00				
01/05/16	16:10	2,14	0,00	2,07	0,00	2,01	0,00				
02/05/16	16:10	2,14	0,00	2,07	0,00	2,01	0,00				
03/05/16	16:10	2,14	0,00	2,07	0,00	2,02	0,00				
04/05/16	16:10	2,15	0,00	2,07	0,00	2,02	0,00				
Expansão Final (%)		0,08		0,04		0,01					

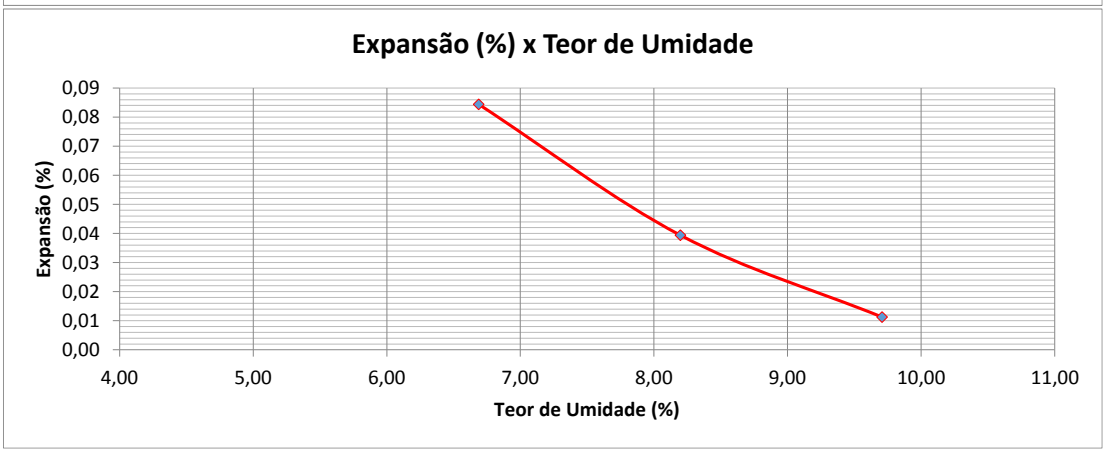
PENETRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

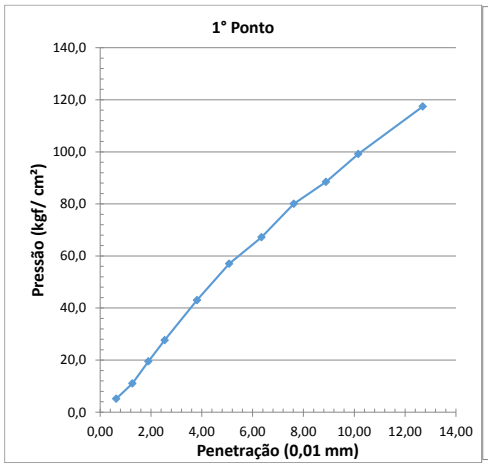
Anel dinamométrico nº							Constante do Anel	0,0967			
tempo min	Penetração (0,01mm)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)	Leitura (0,001mm)	pressão (kgf/cm²)
0,5	0,63	53	5,1	73	7,1	44	4,3				
1	1,27	114	11,0	185	17,9	85	8,2				
1,5	1,90	202	19,5	320	30,9	133	12,9				
2	2,54	286	27,6	465	45,0	202	19,5				
3	3,81	445	43,0	767	74,1	368	35,6				
4	5,08	590	57,0	985	95,2	550	53,2				
5	6,35	695	67,2	1200	116,0	775	74,9				
6	7,62	828	80,0	1383	133,7	915	88,5				
7	8,89	915	88,5	1543	149,2	1115	107,8				
8	10,16	1026	99,2	1703	164,6	1274	123,2				
10	12,70	1215	117,5	1965	190,0	1585	153,2				

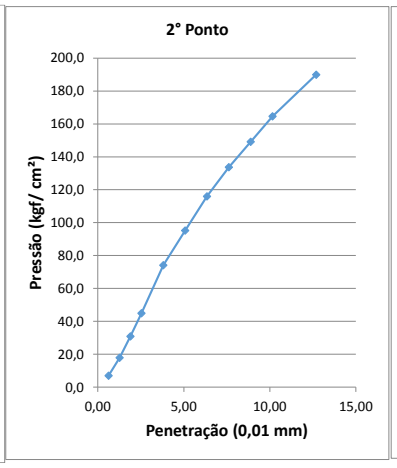
ÍNDICE SUP. CALIFÓRNIA	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)	Carga Corrrigida	ISC (%)
I.S.C. 2,54 mm		39,3		63,9		27,8				
I.S.C. 5,08 mm		54,0		90,2		50,4				

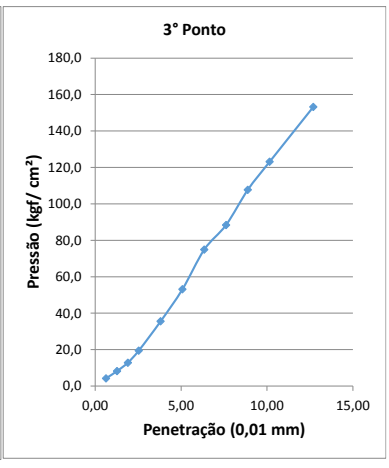

Densidade Aparente Seca (g/cm³) x Teor de Umidade (%)
Dens. Ap. Seca (g/cm³)
2,130
2,120
2,110
2,100
2,090
2,080
2,070
2,060
2,050
2,040
2,030
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
Umidade (%)


CBR (%) x Teor de Umidade (%)
CBR (%)
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
Umidade (%)


Expansão (%) x Teor de Umidade
Expansão (%)
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
11,00
Teor de Umidade (%)

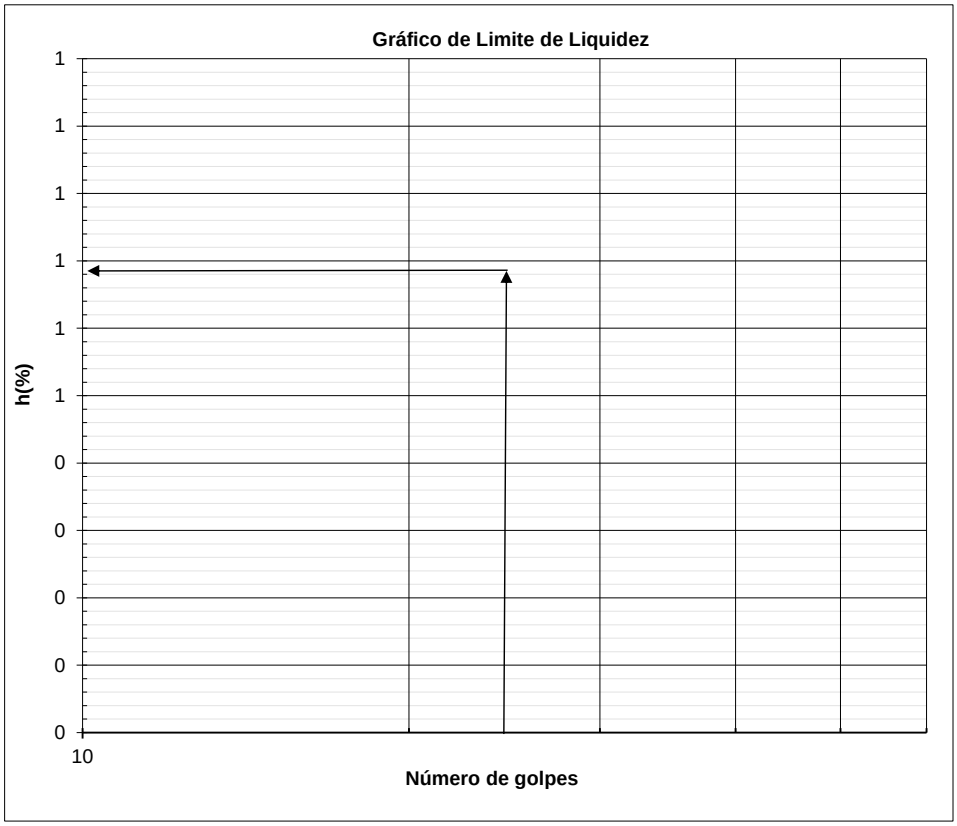

1° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
0,00
2,00
4,00
6,00
8,00
10,00
12,00
14,00
Penetração (0,01 mm)


2° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
200,0
180,0
160,0
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)


3° Ponto
Pressão (kgf/ cm²)
180,0
160,0
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
0,00
5,00
10,00
15,00
Penetração (0,01 mm)

UMA EMPRESA invepar RODOVIAS						PAGINA N°	1/1	
						VERSÃO	00	
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.006		
REGISTRO Nº	KM	Sentido	FURO	PROF.(M)	PROCEDÊNCIA		OPERADOR	
47	**769+000**	**SUL**			**UA010**		**GUILHERME**	
LIMITE DE LIQUIDEZ								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)				NL				
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Nº de golpes								
LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)				NP				
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

Umidade Natural (h)		Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)		
Limite de Plasticidade (LP)		
Índice de Plasticidade (IP)		



UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	**FORMULÁRIO**	PAGINA Nº	1/1
		VERSÃO	00
	ENSAIO DE PERMEABILIDADE CARGA VARIÁVEL	DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.xxx

NORMA NBR 14.545

REGISTRO Nº	MATERIAL	CAMADA	PROCEDÊNCIA	TRECHO	Km	FURO	PROF.(M)	OPERADOR
47	**CASC. ARENOSO**	**BASE**	**UA 10**		**769**			**GUILHERME**

PERMEÂMETRO Nº.	1		Corpo de Prova Nº.		5
Constante do Ensaio	2,07	2,3.(a.L)/A	Comprimento (cm)	L =	12,6
Densidade Real dos Grãos (g/cm³)		d	Área (cm²)	A =	78,54
Índice de Vazios Máximo		e_{max}	Diâmetro (cm)	f =	10
Índice de Vazios Mínimo		e_{min}	Peso (g)	Ph =	2013,4
Volume do Corpo de Prova (cm³)	989,60	V = L.A	OBS.:		
Densidade do Solo Úmido (g/cm³)	2,03	gh = Ph/v			
Densidade do Solo Seco (g/cm³)	1,90	gs = gh/(1+h)			
Índice de Vazios		e_{nat} = (d/gs)-1			
Compacidade Relativa (%)		CR = (e_{max} - e_{nat})/(e_{max} - e_{min})			

TEOR DE UMIDADE							Molde	Nº.	5
	ANTES			DEPOIS			Diâmetro (cm)	Φ=	10
Cápsula Nº.	32	61		34	81		Área (cm²)	A =	78,54
Solo Úmido + Tara (g)	89,51	94,19		86,77	98,20		Bureta	Nº.	1
Solo Seco + Tara (g)	84,23	89,16					Diâmetro (cm)	Φ =	2,67
Tara (g)	15,81	16,16		16,33	18,30		Área (cm²)	a =	5,60
Solo Seco (g)	68,42	73					K_T = 4,91E-04		K_T = ((2,3.a.L)/(A.t)).log(ho/hi)
Água (g)	5,28	5,03							
Umidade - h	7,7%	6,9%					K_{20} = 4,79E-04		K_{20} = C_K.K_T
Média	7,3%								

Hora de Leitura	Tempo t (s)	Leitura da Bureta	Altura Inicial ho (cm)	Altura Final hi (cm)	ho / hi	log (ho/hi)	Coeficiente de Permeabilidade K_T (cm/seg)	T (ºC)	Coeficiente de Correção CK	Coeficiente de Permeabilidade K20 (cmseg)
10:30	96,45	80	191	181	1,0552486	0,0233548	5,00E-04	21	0,975	4,88E-04
	110,89	70	181	171	1,0584795	0,0246825	4,60E-04	21	0,975	4,48E-04
	106,5	60	171	161	1,0621118	0,0261702	5,08E-04	21	0,975	4,95E-04
	115,9	50	161	151	1,0662252	0,0278489	4,96E-04	21	0,975	4,84E-04

Obs.:

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE DENSIDADE "*in situ*"	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.XXX	

NORMA DNER 092/94

DATA:	**23/02/2016**	**KM INICIAL:**	**UA10**	**KM FINAL:**	
SENTIDO:	**Sul**	**FAIXA:**		**OPERADOR:**	

1. Peso Frasco Antes	7000,00			
2. Peso Frasco Depois	4915,00			
3. Peso Areia Deslocada	2085,00			
4. Peso Areia no Cone*	488,00			
5. Peso Areia no Furo	1597,00			
6. Densidade da areia (g/cm³) *	1,414			
7. Volume do Furo (cm³) - 5/6	1129,42			

* DADOS OBTIDOS NO LABORATÓRIO

UMIDADES - h	CAMPO			LABORATÓRIO			CAMPO			LABORATÓRIO		
Cápsula N°.	58	79										
Cáp. + Solo + Água (g)	97,91	105,08										
Cápsula + Solo (g)	93,2	99,89										
Cápsula (g)	4,71	5,19										
Água (g)	16,44	15,05										
Solo Seco (g)	76,76	84,84										
Umidade %	6,1	6,1										

8. Umidade Média %	6,1			
Furo N°.				
9. Peso Total do Material do Furo (g)	2560			
10. Densidade Úmida (g/cm³) - 9/7	2,267			
11. Dens. Apar. Solo Seco (g/cm³) - 10/8	2,136			
Profundidade do Furo (cm)				
Camada	Base	Sub-base	subleito	
Data:				

CONFRONTO DOS RESULTADOS

Densidade Aparente Máxima	2120			
Densidade do Campo	2			
Umidade Ótima	6,8			
Umidade de Campo	6,1			
Grau de Compactação	0,1			

OBSERVAÇÕES:

	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO MANCHA DE AREIA	VERSÃO	00
		DATA	07/01/2016
		DOCUMENTO Nº FO.RDT.xxx	

NORMA RT 03-25

PISTA:	BR 040											
KM	**Bordo**	**Sentido**	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**	**L6**	**Volume areia (mm³)**	**Diâmetro Médio Ds (mm)**	**Altura média Hs (mm)**	**OBS**
UA10 -40m	BD	Sul	275	245	245	255	245		25000	253	0,50	
UA10 -20m	BE	Sul	190	200	205	195	210		25000	200	0,80	
UA10 +0m	BD	Sul	255	255	250	260	255		25000	255	0,49	
UA10 +20m	BE	Sul	270	240	270	245	273		25000	259,6	0,47	
UA10 +40m	BD	Sul	230	230	233	222	230		25000	229	0,61	

FORMULÁRIO										PAGINA N°		1/1
ENSAIO PÊNDULO BRITÂNICO										VERSÃO		00
										DATA		
										DOCUMENTO Nº FO.RDT.		
NORMA HD 15/87 e HD 36/87												
PISTA:	BR 040											
KM	Bordo	Sentido	L1	L2	L3	L4	L5	Média	OBS.:			
UA 10 -40 m	Direito	Sul	61	70	73	69	71	68,8	36°C			
UA 10 -20 m	Esquerdo	Sul	75	82	75	73	75	76,0	36°C			
UA 10	Direito	Sul	85	78	77	90	81	82,2	36°C			
UA 10 +20 m	Esquerdo	Sul	85	73	83	80	89	82,0	36°C			
UA 10 +40 m	Direito	Sul	80	73	88	76	61	75,6	36°C			

FORMULÁRIO						PAGINA N°		1/1
ENSAIO TRELIÇA						VERSÃO		00
						DATA		
						DOCUMENTO Nº FO.RDT.		
NORMA DNIT 006/2003-PRO								
PISTA:								
Data	KM	Bordo	Sentido	Leitura (mm)	OBS.:			
23/02/2016	UA10	BD	Sul	6				
23/02/2016	UA10	BE	Sul	0				
23/02/2016	UA10 -20m	BD	Sul	4				
23/02/2016	UA10 -20m	BE	Sul	0				
23/02/2016	UA10 -40m	BD	Sul	4				
23/02/2016	UA10 -40m	BE	Sul	0				
23/02/2016	UA10 +20m	BD	Sul	5				
23/02/2016	UA10 +20m	BE	Sul	0				
23/02/2016	UA10 +40m	BD	Sul	6				
23/02/2016	UA10 +40m	BE	Sul	1				

FORMULÁRIO												PAGINA N°		1/1
ENSAIO DE DEFLEXÃO NORMA DNIT 133/2010 - ME												VERSÃO		00
												DATA		27/11/2015
												DOCUMENTO Nº FO.RDT.013		
DATA:	18/fev			KM INICIAL	97+550/GO			SENTIDO:	SUL		K VIGA	2		
FAIXA:	1			KM FINAL	97+750/GO			OPERADOR:			GILSON			
CÁLCULO DA BACIA DE DEFLEXÃO														
		Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0		MÉDIA D_0
UA 10 - 100 m	BE	Leitura (mm)	0	0,07	0,17	0,24	0,29	0,33	0,34	0,36	0,38	76,000		
		Deflexão (0,01mm)	76,0	62,0	42,0	28,0	18,0	10,0	8,0	4,0	0,0			
		Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0		97,000
UA 10 - 100 m	BD	Leitura (mm)	0	0,11	0,27	0,4	0,47	0,52	0,54	0,58	0,59	118,000		
		Deflexão (0,01 mm)	118,0	96,0	64,0	38,0	24,0	14,0	10,0	2,0	0,0			
		Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0		MÉDIA D_0
UA 10	BE	Leitura (mm)	0	0,19	0,25	0,31	0,38	0,43	0,45	0,48	0,48	96,000		
		Deflexão (0,01mm)	96,0	58,0	46,0	34,0	20,0	10,0	6,0	0,0	0,0			
		Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0		111,000
UA 10	BD	Leitura (0,01 mm)	0	0,23	0,34	0,43	0,47	0,55	0,57	0,62	0,63	126,000		
		Deflexão (mm)	126,0	80,0	58,0	40,0	32,0	16,0	12,0	2,0	0,0			
		Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0		MÉDIA D_0
UA 10 + 100 m	BE	Leitura (mm)	0	0,18	0,24	0,28	0,33	0,38	0,41	0,45	0,43	86,000		
		Deflexão (0,01mm)	86,0	50,0	38,0	30,0	20,0	10,0	4,0	-4,0	0,0			
		Deslocamento (cm)	0	20	30	45	60	90	120	1000	2000	D_0		95,000
UA 10 + 100 m	BD	Leitura (mm)	0	0,01	0,14	0,3	0,4	0,47	0,49	0,52	0,52	104,000		
		Deflexão (0,01mm)	104,0	102,0	76,0	44,0	24,0	10,0	6,0	0,0	0,0			

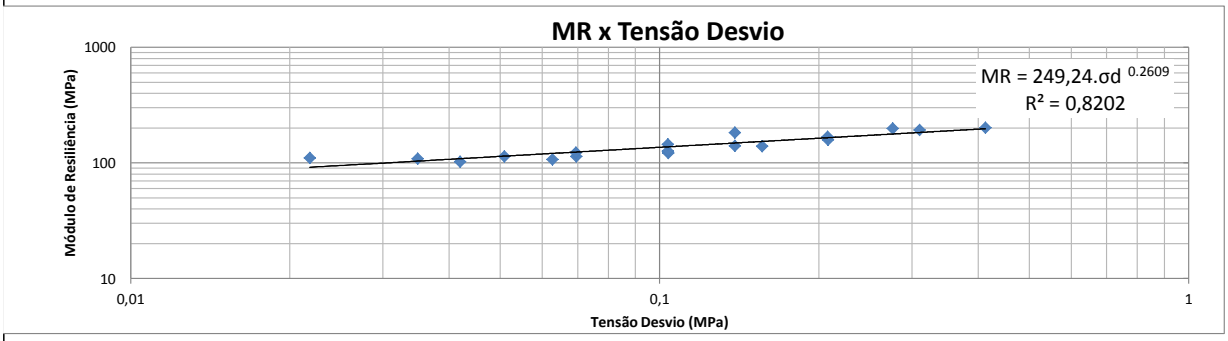
	FORMULÁRIO	PAGINA N°	1/1
UMA EMPRESA invepar RODOVIAS	ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
		DATA	06/04/2015
		DOCUMENTO Nº	FO.RDT.025

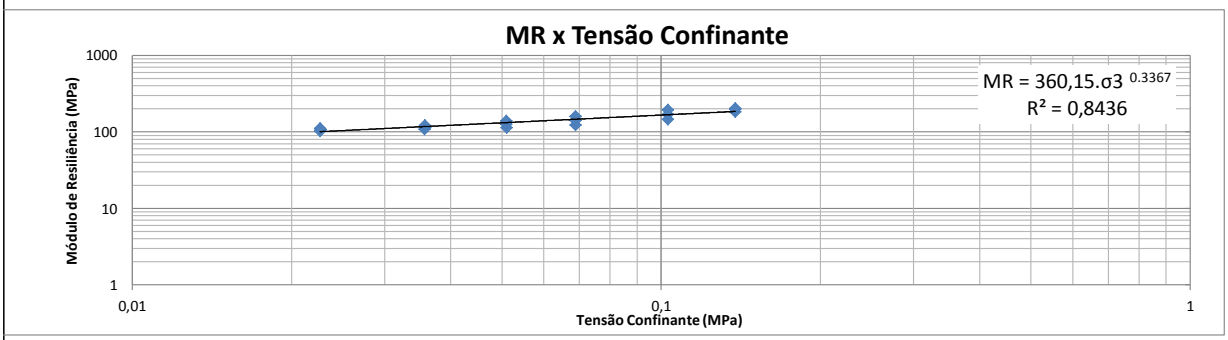
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
47			769+000 (UA10)	Base	Cascalho silto arenoso		10/06/2016

DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)											
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LP (%)	NP	97,56	94,87	94,87	91,28	90,36	74,86	63,55	46,83	38,27	31,62	22,45	18,24
IP	0	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	0	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-1-b	7,60		2,12		90,22		0,04			10X20	4	

Tensões de condicionamento		Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0689	0,0689	0,0207	0,0207	0,02265	0,02180	9,43%	5,32%	1,97E-04	110,727
0,0689	0,2068		0,0414	0,02266	0,04195	9,46%	1,33%	4,08E-04	102,860
0,1029	0,3090		0,0621	0,02273	0,06275	9,78%	1,04%	5,86E-04	107,048
		0,0345	0,0345	0,03570	0,03491	3,47%	1,19%	3,22E-04	108,580
			0,0689	0,03581	0,06959	3,79%	1,01%	6,12E-04	113,694
			0,1029	0,03577	0,10389	3,67%	0,97%	8,55E-04	121,561
		0,0504	0,0504	0,05105	0,05091	1,29%	1,02%	4,48E-04	113,621
			0,1029	0,05094	0,10372	1,07%	0,80%	8,20E-04	126,456
			0,1552	0,05096	0,15630	1,11%	0,71%	1,12E-03	139,876
		0,068	0,0689	0,06890	0,06951	1,32%	0,89%	5,64E-04	123,207
			0,1379	0,06888	0,13888	1,30%	0,71%	9,89E-04	140,486
			0,2068	0,06890	0,20806	1,32%	0,61%	1,31E-03	159,017
		0,1029	0,1029	0,10289	0,10359	0,01%	0,67%	7,13E-04	145,303
			0,2068	0,10290	0,20776	0,00%	0,46%	1,23E-03	169,085
			0,309	0,10291	0,31023	0,01%	0,40%	1,61E-03	193,118
		0,1379	0,1379	0,13791	0,13888	0,01%	0,71%	7,57E-04	183,555
			0,2747	0,13790	0,27573	0,00%	0,37%	1,39E-03	198,350
			0,412	0,13790	0,41277	0,00%	0,19%	2,05E-03	201,806





Observação:

ANEXO II
(Manuais dos Ensaios)

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para o ensaio de compactação, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

Abaixo apresenta-se a instrumentação necessária para a realização do ensaio de compactação dos solos:

- Molde cilíndrico metálico (dimensões conforme especificações em norma);
- Cilindro complementar;
- Disco espaçador metálico (dimensões conforme especificações em norma);
- Soquete metálico cilíndrico;
- Extrator de amostra do molde cilindro;
- Balança com sensibilidade de 1 g;
- Balança com sensibilidade de 0,1 g;
- Estufa capaz de manter a temperatura a 110ºC;
- Almofariz e mão de gral recoberta de borracha;
- Régua de aço;
- Repartidor de amostra;
- Peneiras de 50 mm, 19 mm e 4,8 mm;
- Proveta graduada com capacidade para 1000 ml;
- Papel filtro;
- Bandeja;
- Espátula.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

3.1. Preparação da amostra

- O material deve ser secado em local apropriado;
- Após secagem, o material deve ser destorroado no almofariz pela mão de gral, homogeneizado e reduzido com repartidor de amostras até se obter uma amostra de

aproximadamente 6 kg para solos siltosos ou argilosos, e aproximadamente 7 kg para solos arenosos ou pedregulhos;



- Após eliminar os agregados retidos na peneira de 50 mm, a amostra é passada na peneira de 19 mm , caso tenha material retido nesta peneira , deve-se substituir a mesma quantidade retida;



- Retirar duas cápsulas do material para determinar umidade;



- Adiciona-se porcentagens de água diferentes para cada molde a ser compactado, de modo que dois teores estejam no ramo seco da curva de compactação, dois no ramo úmido e um próximo à umidade ótima;



- Deve-se homogeneizar a amostra com o percentual de água adicionado;



- Passar novamente o material na peneira n°4 para tirar os torrões existentes devido à adição de água;

- Este procedimento deve ser realizado uma vez a cada corpo de prova que tiverem a ser moldados, geralmente cinco.

3.2. Execução do ensaio

- Fixar o molde á base metálica, ajustar o cilindro complementar, colocar o papel de filtro sobre o disco espaçador e apoiar o conjunto em base plana, resistente e firme;



- Dividir o material de acordo com as quantidades de camadas a serem compactadas no molde;



- Aplicar a cada camada golpes com o soquete distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada;



- Retirar o cilindro complementar e com a régua de aço rasar o excesso de material até a altura exata do molde cilindro;



- Pesar o molde cilindro para com a massa do material úmido compactado mais a do molde determinar a massa do material úmido compactado;



- Tirar o corpo de prova do molde cilindro com o extrator de amostras, e retirar da sua parte central duas amostras representativas de cerca de 250 g cada uma para determinar a umidade.
- Após separação destas amostras pesa-las e depois tomar média das umidades.



- Repetem-se as operação citadas acima para teores crescentes de umidade, quantas vezes necessária para caracterizar a curva de compactação do material.

3.3. Energias de Compactação

- Definir de acordo com a tabela abaixo os seguintes tópicos:

-Energia de compactação

-Número de golpes

-Número de camadas

-Tamanho do cilindro e soquete

-Espessura do disco espaçador

O quadro abaixo apresenta as energias de compactação definidas pela norma DNIT – 164/2013 – ME – *Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas* – Método de Ensaio

Energias de Compactação	Número de camadas	Número de golpes por camada	Cilindro
Normal	5	12	CBR
Intermediária	5	26	
Modificada	5	55	

4. RESULTADOS

- Valores obtidos no ensaio de compactação:

- Porcentagens da água adicionada (%A) é definida em cada ponto por:

$$\%\mathbf{A} = \frac{\text{peso de água adicionada}}{\text{peso do material úmido}} . 100$$

- Peso específico aparente úmido (ɣh):

$$\mathbf{yh}\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{(\text{peso de solo úmido} + \text{tara do molde}) - (\text{tara do molde})}{\text{volume do molde}} = \frac{Ph}{V}$$

- Densidade convertida (ɣuc):

$$\mathbf{yuc}\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{yh}{100 + \%A} . 100$$

- Teor de umidade (h%):

$$\mathbf{h}\% = \frac{Pa}{Ps} . 100$$

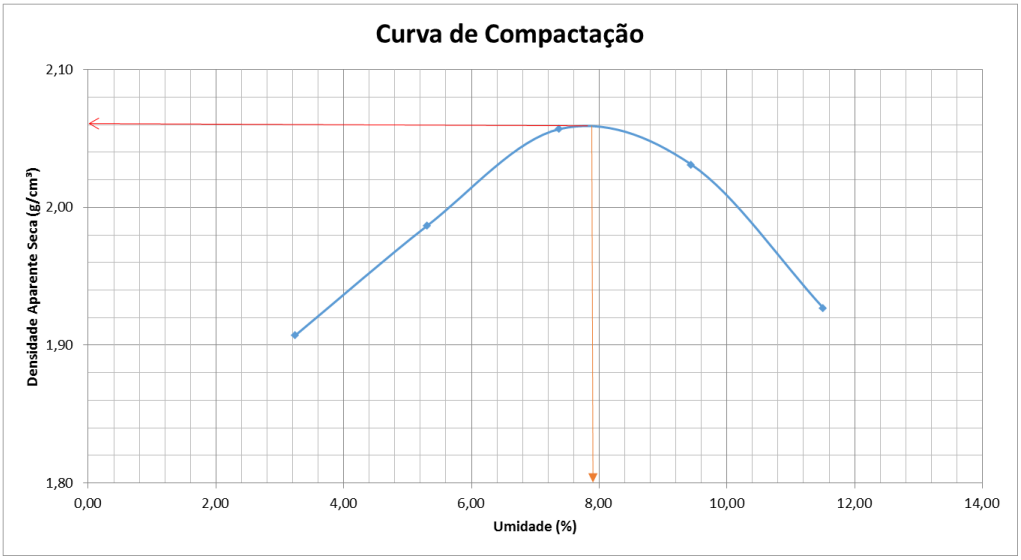
- Umidade corrgida (hc%):

$$\mathbf{hc}\% = \mathrm{hm}\% + \frac{\text{peso de água adicionada}}{\text{peso do material seco}} . 100$$

- Peso específico aparente seco (ɣs):

$$\mathbf{ys}\left(\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}\right) = \frac{\mathrm{yh}}{100 + \mathrm{hc}\,\%} . 100$$

- Realizar o gráfico Peso específico aparente seco X Umidade corrigida. Através do gráfico de obtém o peso específico seco máximo (ɣs máx) e umidade ótima (hót).



5. EXEMPLO

Peso da água adicionada: 240 ml
Peso do material úmido: 8000 g

$$\%\boldsymbol{A} = \frac{240}{8000} . 100$$

$$\%\boldsymbol{A} = 3$$

Peso do solo úmido + tara do molde: 9680g
Peso do molde: 5450 g
Volume do molde: 2051 m3

$$\gamma h\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{9680 - 5450}{2051} = \frac{Ph}{V}$$

$$\gamma h\left(\frac{g}{cm^3}\right) = 2{,}06$$

Peso do material seco: 7900 g

$$\gamma uc\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{2{,}06}{100 + 3}.100$$

$$\gamma uc\left(\frac{g}{cm^3}\right) = 2$$

Cápsula 1:

Peso da água: 7,5 g

Peso do solo seco: 489,9 g

$$h\%1 = \frac{7{,}5}{489{,}9}.100$$

$$h\% = 1{,}5$$

Cápsula 2:

Peso da água: 6 g

Peso do solo seco: 599,5 g

$$h\%2 = \frac{6}{599{,}5}.100$$

$$h\% = 1{,}0$$

$$h\%m = \frac{1{,}5 + 1}{2}$$

$$h\%m = 1{,}3$$

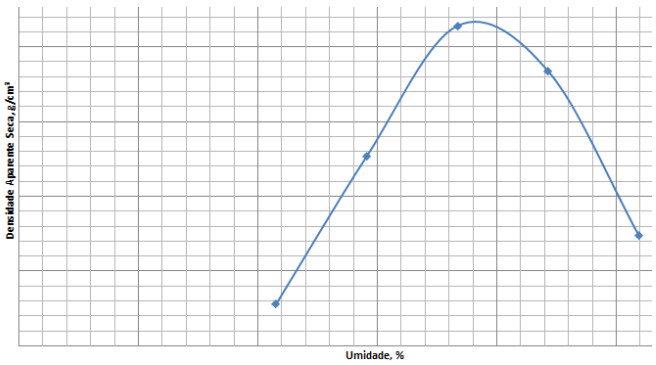
$$hc\% = 1{,}3 + \frac{240}{7900}.100$$

$$hc\% = 4{,}3$$

$$\gamma s\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{2{,}06}{100 + 4{,}3}.100$$

$$\gamma s\left(\frac{g}{cm^3}\right) = 1{,}98$$

UMIDADE MEDIA	
UMID. ADOTADA (%)	4,30
UMIDADE CALCULADA (%)	4,30
DENS. MAX. SECA (g/cm³)	1,978
CILINDRO N°	12
ÁGUA ADICIONADA (ml)	240
ÁGUA ADICIONADA (%)	3
M + S + A (g)	9680
M - MOLDE (g)	5450
S + A (g)	4230
VOL. CILINDRO (cm³)	2051
DENS. ÚMIDA (g/cm³)	2,063
DENS. CONVERTIDA (g/cm³)	2,003



6. REFERÊNCIAS

DNIT – 164/2013 – ME – *Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas* – Método de Ensaio. Instituto de Pesquisas Rodoviários (IPR), Rio de Janeiro, 2013.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – CORREÇÃO DA UMIDADE

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação da umidade do solo, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

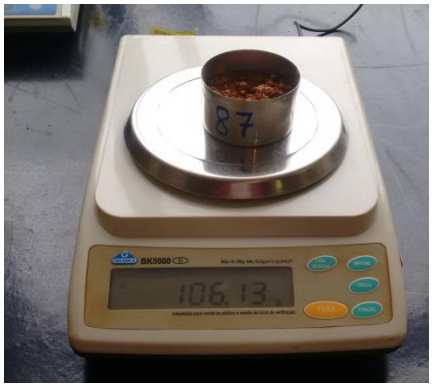
2. INSTRUMENTAÇÃO

- Balança sensível a 0,1g;
- Capsula metálica;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C;

Nota: Caso a amostra não esteja preparada, serão necessários também os instrumentos do "Manual de Preparação de Amostras".

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

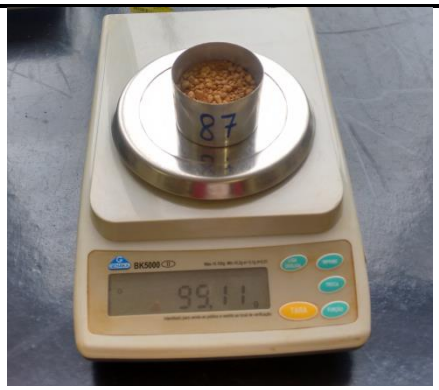
- Seguir o procedimento do "Manual de preparação de amostras";
- Pesar de 100 g a 110 g da amostra com a umidade higroscópica e anotar o resultado;



- Submeter o material contido na cápsula de alumínio a secagem na estufa a 105° - 110°por um período de 24 horas;



- Pesar o material após secagem e anotar o resultado;



- Caso o teor de umidade observado for maior que o desejado, o procedimento de secagem deve ser continuado.



4. RESULTADO

$$Peso\ Água = \frac{mbu * h}{(1+h)}$$

Onde:

mbu – Massa Bruta Úmida;

h – Teor de umidade, em %.

Conhecida a quantidade de água no material, o peso dos sólidos da amostra pode ser facilmente obtido pela seguinte relação:

Peso sólidos = Peso total – Peso água

A quantidade de água a ser adicionada na amostra, para que sua umidade seja corrigida para um determinado valor, pode ser obtida observando a relação que define teor de umidade:

$$w = \frac{P_{água}}{P_{sólidos}}$$

5. REFERÊNCIAS

DAS, Braja M. Fundamentos de engenharia geotécnica. Thomson Learning, 2007.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – DENSIDADE “IN SITU” (MÉTODO CILINDRO DE CRAVAÇÃO)

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação da massa específica aparente natural do solo e a massa específica aparente seca “in situ”, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Cilindro metálico (dimensões estabelecidas por norma);
- Paquímetro digital ou manual;
- Enxada;
- Colarinho metálico;
- Haste metálica;
- Soquete;
- Pá;
- Picareta;
- Luva;
- Balança sensível a 0,1g;
- Speedy ou fogareiro.

3. DETERMINAÇÃO DA MASSA E VOLUME DO CILINDRO

- Realizar quatro medições igualmente espaçadas do diâmetro e a altura interna do cilindro;





- Calcular o volume do cilindro utilizando a média dos valores encontrados;
- Este procedimento deve ser realizado sempre antes da realização do ensaio

4. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Limpar e nivelar a superfície onde será realizado o ensaio, com o auxilio de enxada;
- Assentar o cilindro no solo de forma que sua abertura fique virada para baixo;
- Instalar sobre o cilindro os seguintes equipamentos: colarinho para sobrepor o cilindro, haste e soquete de cravação;



- Iniciar a cravação do cilindro, por intermédio da queda livre do soquete de cravação, tomando-se cuidado de manter a haste na posição vertical;






- A cravação da cilindro deve ser realizada de forma consecutiva até o momento em que a borda superior do cilindro esteja 1 cm abaixo da superfície do terreno;



- Desmontar o conjunto;
- Escavar o terreno circunvizinho com auxílio de uma pá e picareta;



- Realizar o talhamento do solo a 5 cm abaixo da borda do cilindro inferior;
- Com o auxílio de uma régua biselada, rasar ambas as faces do cilindro (lembre-se de tirar o colarinho);





- Pesar imediatamente o conjunto (cilindro +solo úmido). Resolução de 1 g. O resultado obtido denomina-se M1;



- Retirar do centro do corpo de prova uma amostra para determinação da umidade;
- Pesar a amostra;



- Obter o teor de umidade através do Speedy, ou fogareiro;





- O ensaio deve ser realizado novamente caso:
    - O cilindro esteja muito danificado após a cravação;
    - O cilindro não foi completamente preenchido;
    - A amostra contem pedregulhos, raízes ou qualquer outro tipo de material que interfira no resultado;

- A amostra não seja representativa do solo em questão.

5. RESULTADOS

- Massa específica aparente natural do solo in situ (ɣh), em g/cm³

$$\gamma h = \frac{Mt - Mc}{Vc}$$

Mt: massa do cilindro com amostra úmida, em g.
Mc: massa do cilindro, em g.
Vc: volume interno do cilindro

- Massa específica aparente seca do solo in situ (ɣs), em, g/cm³

$$\gamma s = \frac{\gamma h}{1 + h(\%)}$$

ɣh: Massa específica aparente natural do solo in situ, em g/cm³
h: teor de umidade do solo in situ, em %.

6. EXEMPLO

Considerando os dados hipotéticos a seguir:

Mt = 7000g; Mc = 4500g; Vc =973cm³

$$\gamma h = \frac{7000-4500}{973}$$

$$\gamma h = 2{,}56 g/cm^3$$

$h_{in\ situ}$ = 10,7 %

$$\gamma s = \frac{2{,}56}{1 + 0{,}107}$$

$$\gamma s = 2{,}31\ g/cm^3$$

7. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 9813 (2016). *Solos – determinação da massa específica aparente in situ, com o emprego de cilindro de cravação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – DENSIDADE IN SITU – MÉTODO DO FRASCO DE AREIA

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação massa específica aparente do solo através do frasco de areia, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Frasco de plástico com capacidade de 3,5L, dotado de gargalo rosqueado e funil (conforme norma);
- Bandeja quadrada de alumínio (dimensões conforme norma);
- Marreta;
- Estufa capaz de manter a temperatura à 105°C e 110°C;
- Balança de precisão;
- Areia padronizada;
- Talhadeira de aço (reta e côncava);
- Concha;
- Bacias de alumínio (capacidade aproximada de 5000 gramas);
- Sacos plásticos para armazenamento do material proveniente do furo.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

3.1 Determinação do peso da areia no cone

- Montar o conjunto (frasco + funil), sendo que o frasco deve estar cheio de areia;
- Pesar o conjunto (P1);



- Instalar o conjunto sobre a bandeja e esta sobre uma superfície plana;



- Abrir o registro. A areia deve escoar livremente até que o movimente se cesse;
- Fechar o registro;
- Retirar o conjunto que está sobre a bandeja;

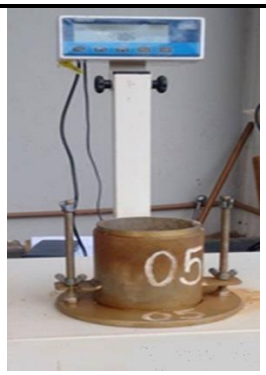


- Pesar o conjunto (P2);
- O peso da areia descolada, ou seja, o material que encheu o orifício da bandeja e o volume do funil é obtido através da fórmula, P3:

  P3 = P1 – P2

3.2 Determinação da massa específica aparente da areia

- Separar um cilindro;
- Pesar o cilindro (P4);



- Colocar o cilindro dentro de uma bandeja;



- Com o auxílio de uma concha verte-se a areia dentro do cilindro. Lembrando que deve ser a mesma areia utilizada no item 1;



- A areia deve cair livremente dentro do cilindro;
- Rasar a superfície do cilindro;





- Pesar o cilindro + areia (P5);



- O peso da areia que encheu o cilindro é:

  Pa = P5 – P4

- O peso específico aparente da areia será:

$$\gamma a = \frac{Pa}{V}$$

  γa = peso específico aparente da areia (g/cm³)
  Pa = peso da areia (g) – (Média de três determinações)
  V = volume do cilindro (cm³)

3.3 Determinação da massa específica aparente do solo, “in situ”

- Limpar e nivelar a superfície do solo onde será realizado o ensaio.
- Ajustar a bandeja nessa superfície;
- Realizar um furo cilíndrico no solo, limitado pelo orifício da bandeja, com auxílio de uma talhadeira e marreta. O furo deve ter aproximadamente 15 cm de profundidade;



- Recolher cuidadosamente o solo extraído do furo. Deve-se tomar o material extraído e pesar (Ph);



- Retirar cerca de 100 g desse solo e determina-se a umidade (h), seja pelo método de estufa, “speedy” ou de álcool;
- Pesar o conjunto (frasco + funil), estando o frasco cheio de areia (P6);
- Instalar o conjunto (frasco + funil) no rebaixo do orifício da bandeja;



- Abrir o registro;
- Fechar o registro quando o movimento no interior do frasco cessar;
- Retirar o conjunto que está sobre a bandeja;
- Pesar o conjunto (P7).

4. RESULTADOS

4.1 Peso específico/ peso especifico aparente

- Peso da areia deslocada (g): Pd = P6 – P7

- Peso da areia do furo (g): Pf = Pd – P3

- Volume do furo (cm³): $Vf = \frac{Pf}{ya}$

- Peso específico aparente do solo úmido “in situ” (g/cm³): $yh = \frac{Ph}{Vf}$

- Peso específico aparente do solo seco “in situ” (g/cm³): $ys = \frac{yh}{1+Ha}$

Onde,

Pd = peso da areia deslocada

P6 = peso do frasco + areia (antes)

P7 = peso do frasco + areia (depois)

P3 = peso da areia no cone

Pf = peso da areia no furo

Vf = volume do furo

ɣa = densidade da areia

ɣh = densidade do solo úmido

ɣs = densidade do solo seco

Ph = peso do solo úmido

Há = umidade do material *in situ*

4.2 Controle de compactação

- $GC\ (\%) = \frac{y_{s,in\ situ}}{y_{smáx}} . 100$

  GC (%) = grau de compactação

  *ɣs (g/cm³) = peso específico aparente seco “in situ”

  *ɣs máx (g/cm³) = peso específico aparente seco máximo, obtido no laboratório através da curva de compactação do solo. (De acordo com a energia de compactação solicitada pelo projeto).

5. REFERÊNCIAS

DNER-ME 092/94. *Solo – determinação de massa específica aparente "in situ", com emprego de frasco de areia*. MT, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE REAL

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação da densidade real dos solos, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

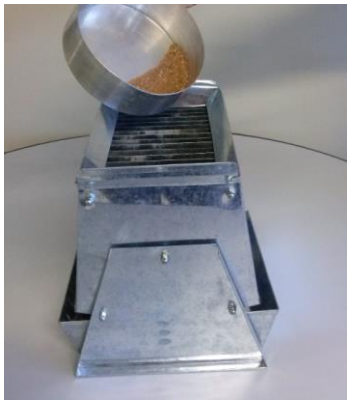
2. INSTRUMENTAÇÃO

- Quarteador de amostras de 1,3cm de abertura;
- Peneira de 2mm;
- Balança sensível a 0,01g;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105 e 110ºC;
- Picnômetro;
- Termômetro graduado em 0,5ºC de 0 a 60ºC;
- Aparelho capaz de remover completamente o ar aderente às partículas de solo (bico de busen, “liquin” com trempe, bomba a vácuo);
- Recipiente para acondicionamento de amostra;
- Dessecador;
- Funil;
- Balde;
- Luva.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

3.1. Preparação da amostra

- Quartear a amostra extraída em campo até obter 200g;



- Após o quarteamento do material deve-se realizar o peneiramento utilizando a peneira de 2,0 mm (nº 10);



- Secar a amostra até peso constante em estufa a 105ºC – 110ºC

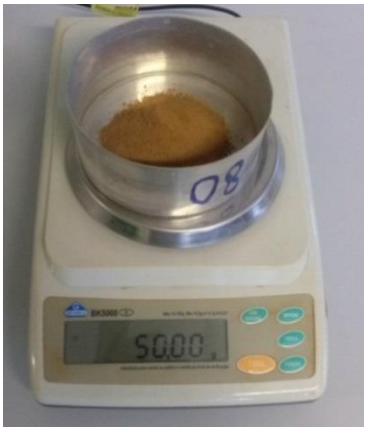


- Esfriar no dessecador;



- Utilizar 50 g de solo seco como amostra a ensaiar (Peso da amostra – P_1).

Obs.: A balança deve ser zerada com o recipiente vazio.



3.2. Ensaio

- Adicionar água dentro do picnômetro;



- Pesar o picnômetro + água (P_2);



- Deve-se retirar aproximadamente metade da água dentro do picnômetro;



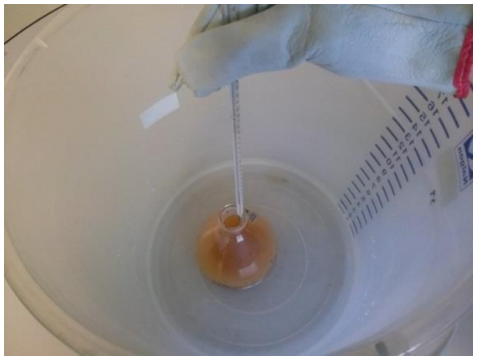
- Com auxílio de um funil, coloca-se a amostra no picnômetro;



- Aquece-se o picnômetro, deixando ferver por 15 minutos, para expulsar todo o ar existente; Lembrar que, durante o aquecimento, devemos agitar o Picnômetro para evitar o superaquecimento;



- Deixar o picnômetro em repouso para realizar o esfriamento;
- Anota-se a temperatura da água que se encontra em temperatura ambiente dentro do balde. Logo após deve ser colocado o picnômetro no balde de água, até que o mesmo estabilize em temperatura ambiente;



- Retira o picnômetro do balde, limpa-o e seca-o com um pano limpo;

- Completa-se o picnômetro com água e pesa-se (P_3).



4. RESULTADOS

- A densidade real do solo à temperatura (t) é dada pela seguinte fórmula:

$$Dt = \frac{P_1}{(P_1 + P_2) - P_3}$$

Onde:

Dt - densidade real do solo à temperatura t;

$\mathbf{P_1}$ - peso da amostra, em g;

$\boldsymbol{P_2}$ - peso do picnômetro + água, em g;

$\boldsymbol{P_3}$ - peso do picnômetro + amostra + água, depois de fervido, em g;

- Após encontrado o Dt, deve-se multiplicar ao resultado o coeficiente de ajuste da temperatura a 20ºC, de acordo com a tabela abaixo:

Temperaturas t em °C	Densidade relativa da água	Fator de correção k_{20}	Temperaturas t em °C	Densidade relativa da água	Fator de correção k_{20}
4	1,0000	1,0018	19	0,9984	1,0002
5	1,0000	1,0018	20	0,9982	1,0000
6	0,9999	1,0017	21	0,9980	0,9998
7	0,9999	1,0017	22	0,9978	0,9996
8	0,9999	1,0017	23	0,9976	0,9993
9	0,9998	1,0016	24	0,9973	0,9991
10	0,9997	1,0015	25	0,9971	0,9989
11	0,9996	1,0014	26	0,9968	0,9986
12	0,9995	1,0013	27	0,9965	0,9983
13	0,9994	1,0012	28	0,9963	0,9980
14	0,9993	1,0011	29	0,9960	0,9977
15	0,9991	1,0009	30	0,9957	0,9974
16	0,9990	1,0008	31	0,9954	0,9972
17	0,9998	1,0006	32	0,9951	0,9969
18	0,9986	1,0004	33	0,9947	0,9965

$$D_{20} = D_t \; x \; K_{20}$$

5. EXEMPLO

Peso da amostra (P1) = 50g

Peso do picnômetro + água (P2) = 695,38g

Peso do picnômetro + amostra + água depois de fervido (P3) = 726,35g

K20 = 0,9980 (O ensaio foi realizado em temperatura de 28ºC)

$$Dt = \frac{50{,}00}{(50{,}00 + 695{,}38) - 726{,}35}$$

$$Dt = 2{,}63$$

$$D20 = 2{,}63 \; x \; 0{,}9980$$

$$\underline{\boldsymbol{D20 = 2{,}62\ g/cm^3}}$$

6. REFERÊNCIAS

DNER-ME 093/94. *Solos – determinação da densidade real*. MT, Dep. Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – DETERMINAÇÃO DA UMIDADE "IN SITU" (MÉTODO SPEEDY E DO FOGAREIRO)

1. SPEEDY

1.1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação do teor de umidade de solos e agregados através do Speedy, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

1.2. INSTRUMENTAÇÃO

- Aparelho Speedy completo (especificado por norma);
- Ampolas com aproximadamente 6,5g de carbureto de cálcio;
- Balança de precisão;
- Capsula metálica.

1.3. AMOSTRA

- O peso da amostra é estimado pela umidade que se admite a amostra possuir, de acordo com a tabela abaixo:

Tabela - Peso amostra em função da umidade admitida.

Umidade estimada, %	Peso da amostra, g
5	20
10	10
20	5
30 ou mais	3

1.4. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Pesar a amostra e colocar na câmera do aparelho “Speedy”;



- Introduzir na câmara duas esferas de aço;
- Em seguida, introduz a ampola de carbureto de cálcio, deixando-a deslizar pela câmara, a fim de evitar que se quebre;



- Fecha-se o aparelho, agita-se repetidas vezes para quebrar a ampola;
- Lê-se a pressão manométrica após esta se apresentar constante, o que indica que toda a água existente na amostra reagiu com o carbureto.



- O equipamento já fornece diretamente o valor da umidade (%), em conjunto com uma escala de pressão.

1.5. REFERÊNCIAS

DNER-ME 052/94. *Solos e agregados miúdos – determinação da umidade com emprego do "Speedy"*. MT, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil.

2. FOGAREIRO

2.1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação do teor de umidade de solos e agregados através do método do fogareiro, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2.2. INSTRUMENTAÇÃO

- Frigideira;
- Isqueiro;
- Capsula metálica;
- Balança de precisão;
- Placa de vidro.
- Bandeja metálica;
- Fogareiro.

2.3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Por meio de uma balança, determina-se o peso úmido do material;



- Coloca-se a amostra dentro de uma frigideira, e acende o fogo;



- Mexer a amostra, afim de que toda a umidade da amostra seja expelida;
- Após a amostra seca, pesa-se novamente.
  Nota: Com o auxílio de placa de vidro, observa-se a presença de água em forma de vapor, que embaça a superfície da placa de vidro.



2.4. RESULTADOS

Para obtenção do teor de umidade

$$h\,(\%) = \frac{P_{água}}{P_{solo}} * 100$$

h - umidade, em percentagem

$$P_{água} = P_{úmido} - P_{solo}$$

2.5. REFERÊNCIAS

DAS, Braja M. Fundamentos de engenharia geotécnica. Thomson Learning, 2007.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – ENSAIO C.B.R. "*CALIFORNIA BEARING RATIO*"

1. OBJETIVO

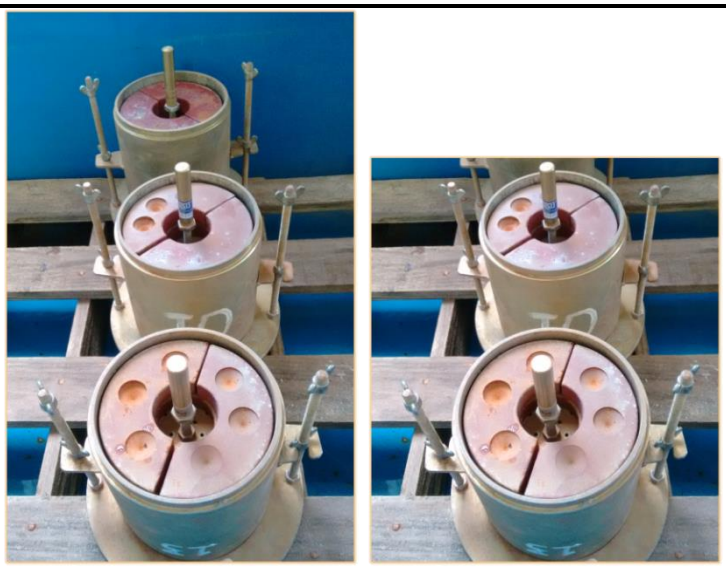
Apresentar o procedimento para a determinação do índice CBR (*California Bearing Ratio)*, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Moldes cilíndricos;
- Disco espaçador metálico;
- Soquete metálico cilíndrico;
- Prato perfurado de bronze ou latão;
- Tripé porta extensômetro;
- Disco anelar de sobrecarga;
- Extensômetro com curso mínimo de 10 mm, graduado em 0,01 mm;
- Prensa CBR;
- Papel filtro circular;
- Balança com capacidade de 20 kg, sensível a 5 gramas.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

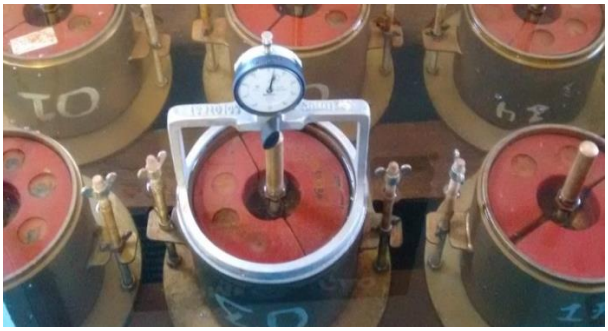
- Utilizar os 5 (cinco) corpos de prova realizados de acordo com o Manual de Execução – Ensaio de Compactação.
- Inverter os cilindros e retirar o disco espaçador;
- Fixar cada molde cilíndrico no prato de base;
- Colocar a haste de expansão com os pesos anelares no espaço deixado pelo disco espaçador;
    - O conjunto de pesos anelares não pode ser menor que 4, 536 g.
- Colocar os corpos de prova dentro de um tanque;



- Encher o tanque com água até os corpos de prova fiquem totalmente imersos na água;



- Adaptar na haste de expansão um extensômetro fixo ao tripé porta extensômetro;



- Zerar o extensômetro e anotar na ficha de ensaio o horário que foi zerado o extensômetro;
- Retirar o tripé porta extensômetro e apoiar o mesmo sobre um local que não haja movimentação para não interferir nas próximas leituras;



- Os corpos de prova deverão ficar imersos por 4 dias consecutivos, sendo que as leituras de expansão devem ser realizas nesse período de 24 em 24 horas;



- Após o período de imersão os corpos de prova devem ser retirados do tanque;
- Deixar os corpos de prova escoar por 15 minutos.
- Após o escoamento, levar o conjunto (molde + solo + água + sobrecarga) para a prensa;



- Realizar o assentamento do pistão de penetração no solo;

- Zerar o extensômetro que mede a penetração do solo e zerar o extensômetro do anel de carga;





- Acionar a manivela da prensa com velocidade de 0,05 pol./mim. As leituras no extensômetro do anel de carga devem ser realizadas em função do tempo e penetração do pistão no solo de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 1 – Tempo X Penetração

Tempo (min)	Penetração		Leitura no extensômetro do anel (mm)
	pol	mm	
0,5	0,025	0,63	-
1,0	0,050	1,27	-
1,5	0,075	1,90	-
2,0	0,100	2,54	-
3,0	0,150	3,81	-
4,0	0,200	5,08	-
6,0	0,300	7,62	-
8,0	0,400	10,16	-
10,0	0,500	12,70	-

4. RESULTADOS

- Expansão

  O cálculo de expansão para cada corpo de prova será feito obedecendo ao quadro abaixo:

Quadro 1: Cálculo de expansão

Molde n°:					
Altura do molde:					
Data	Hora	Tempo Decorrido	Leitura	Diferença de leituras	Expansão

A expansão é calculada da seguinte forma:

$$\textbf{Expansão}\ \% = \frac{\text{Diferença de leituras}}{\text{altura do molde}} * 100$$

- C.B.R. (*California Bearing Ratio*)

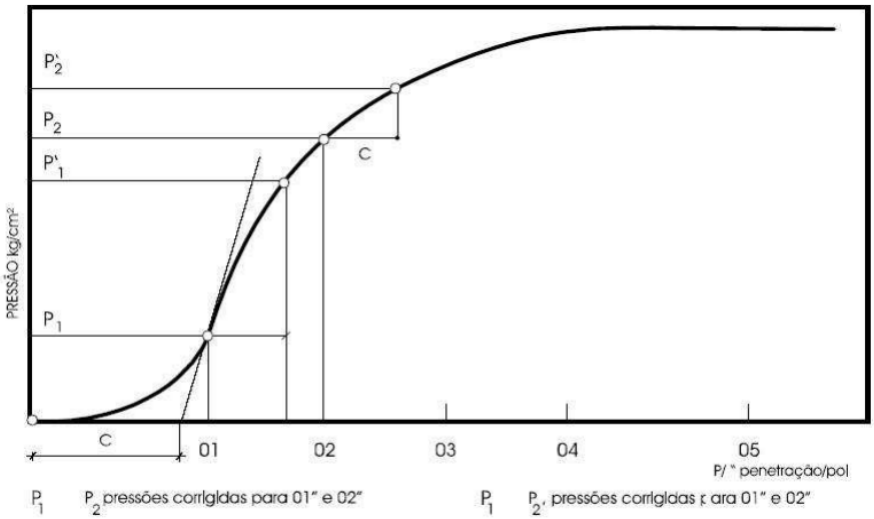
  Será feito obedecendo ao quadro abaixo:

Quadro 2: Cálculo do ISC

1	2		3	4	5	6	7
Tempo em minutos	Penetração		Pressão padrão Kg/cm²	Molde n°			
				Pressão kg/cm²			I.S.C
	mm	pol.		Leituras no extensômetro	Calculada	Corrigida	%
0,50	0,63	0,025	-				
1,00	1,27	0,050	-				
1,50	1,90	0,075	-				
2,00	2,54	0,100	70				
3,00	3,81	0,150	-				
4,00	5,08	0,200	105				
6,00	7,62	0,300	132				
8,00	10,16	0,400	161				
10,00	12,70	0,500	182				

- A pressão calculada é obtida através da multiplicação da leitura no extensômetro pela constante de aferição do mesmo.

- A pressão corrigida pode ser obtida pela correção da curva *pressão x penetração.* Consiste no ajuste do ponto zero da curva a fim de corrigir os efeitos provenientes da irregularidade do corpo de prova.



Curva pressão – penetração

- A pressão corrigida é calculada somando a distância "c" com as abcissas dos pontos correspondentes às penetrações de 0,1 polegada e 0,2 polegadas.

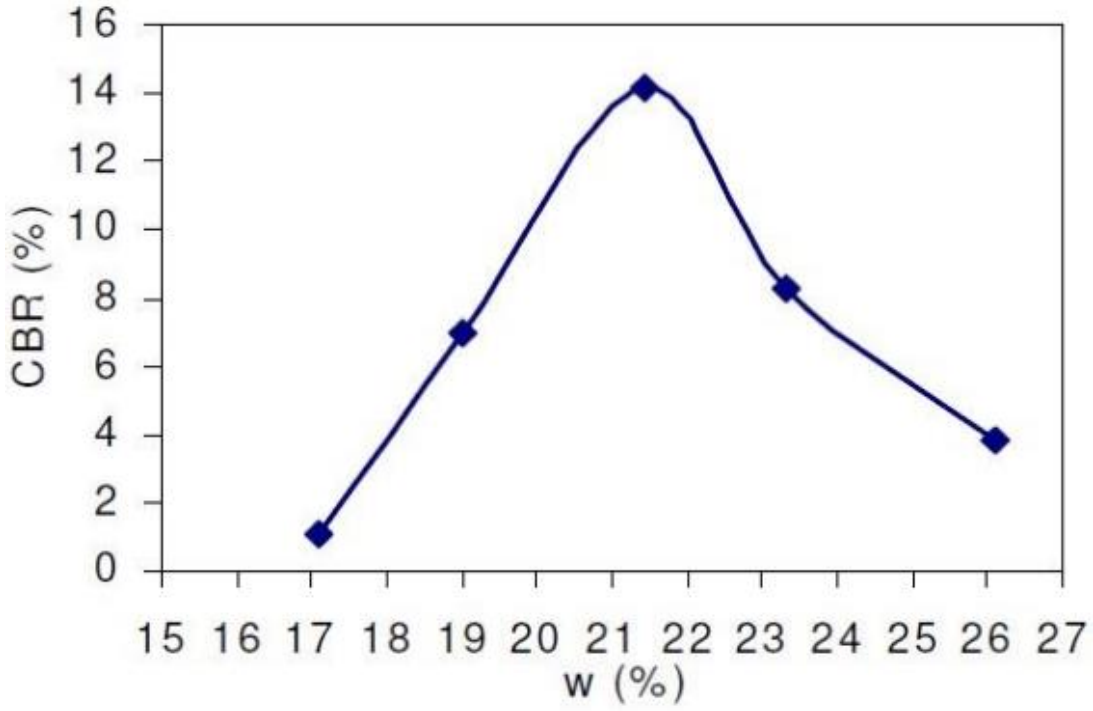
- O índice de Suporte Califórnia é calculado da seguinte forma:

$$I.S.C\ \% = \frac{\text{pressão calculada ou pressão corrigida}}{\text{pressão padrão}} . 100$$

- O Índice de Suporte Califórnia final será o maior dos valores obtidos nas penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas.

5. EXEMPLO

Os valores obtidos para os cinco corpos de prova são plotados em um gráfico relacionando os valores de CBR (%) encontrados com as umidades de moldagem dos corpos de prova. O valor de CBR (%) da amostra ensaiada será correspondente ao valor obtido do corpo de prova moldado no teor de umidade próximo da ótima. No caso do ensaio abaixo, o valor de CBR da amostra ensaiada é de 14%.



6. REFERÊNCIAS

DNIT 172/2016 – ME – Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio. Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), Rio de Janeiro, 2016.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE USO – DCP (*Dynamic Cone Penetration*)

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação da resistência do solo através da penetração por DCP, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Equipamento DCP (*Dynamic Cone Penetration*);

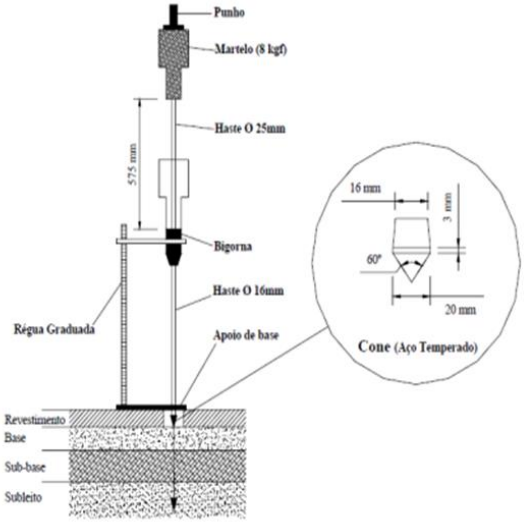
3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Retirar camadas superficiais que não sejam do material a ser ensaiado;
- Regularizar a superfície do solo para assentamento do equipamento;
- Montar o equipamento;



- Posicionar o DCP. Manter sempre na vertical, para que não haja atrito lateral durante o processo de penetração da ponta cônica. Confirmando-se a verticalidade a cada golpe;
- Registrar a penetração inicial, obtida com o assentamento do peso próprio do equipamento;
- Elevar o peso (martelo) até altura máxima de queda;





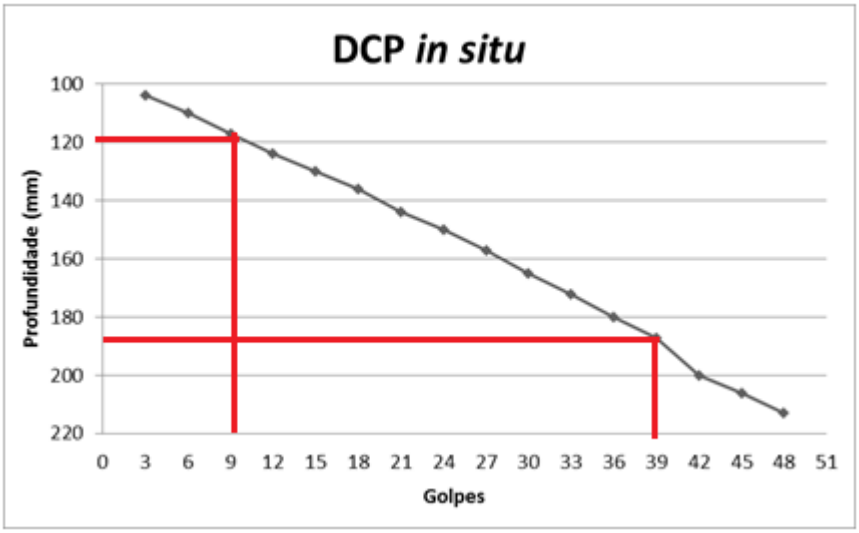
- Liberar o martelo em queda livre;
- O registro das penetrações é feito a cada lance de golpes, conforme a seguir:
    - A cada 1 golpe – para solos moles e pouco resistentes;
    - A cada 5 golpes – para solos com resistência mediana;
    - A cada 10 golpes – para solos com resistência elevada;
- A profundidade de penetração do ensaio varia conforme a finalidade do mesmo. Em geral, profundidades superiores a 900 mm não se aplicam para fins de estudo de pavimentos rodoviários.





- Desmontar, limpar e guardar o equipamento.

4. RESULTADOS



- Para cálculo do índice DN, índice DCP (mm/golpe), relacionar a profundidade observada com o número de golpes acumulado, conforme destacado no gráfico anterior:

$$DN = \frac{Produndidade}{N° \ de \ golpes \ acumulados}$$

5. EXEMPLO

Profundidade= 185 mm

Nº de golpes acumulados= 30

$$DN = \frac{118 \ mm}{30 \ golpes}$$

$$DN = 3{,}93 \ mm/golpe$$

6. REFERÊNCIAS

ASTM D6951M-09(2015). *Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications*. American Society for Testing and Materials, International.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – ENSAIO DE EQUIVALENTE DE AREIA

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação do equivalente de areia, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Proveta cilíndrica transparente;
- Tubo lavador;
- Garrafão para armazenar a solução;
- Solução de equivalente de areia;
- Água;
- Pistão;
- Funil;

3. PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO DE TRABALHO

- Tomar 125 ml de solução concentrada e diluir com água destilada até completar o volume de 5 litros.





4. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

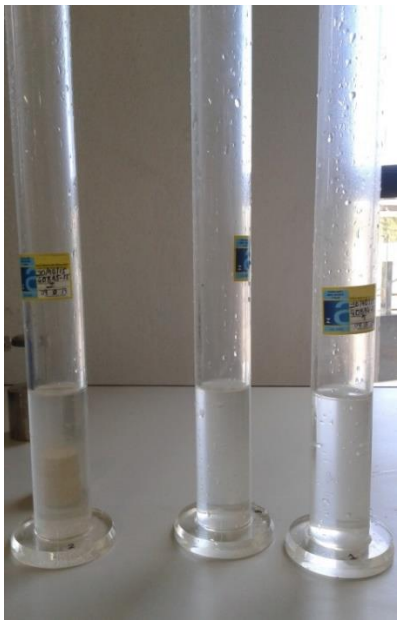
- Deve-se realizar o peneiramento utilizando apenas o material passante na peneira de 4,8 mm;

- Antes do peneiramento devemos conferir se a amostra está úmida, caso contrário deve-se umedecê-la.



5. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Abrir a pinça do tubo de ligação (onde está a solução de trabalho diluída) a fim de verificar o escoamento;
- Colocar a solução de trabalho na proveta, até atingir a marca de 10 cm (primeira marca da proveta);



- Colocar na proveta, com o auxílio de um funil, o material contendo aproximadamente 110 g;



- Bater com a palma da mão no fundo da proveta, a fim de deslocar as bolhas de ar e ajudar a molhar a amostra. Após as bolhas de ar se deslocarem, deixar a proveta em repouso por 10 minutos;
- Tapa-se a proveta com a rolha de borracha e agitá-la, horizontalmente, executando 90 ciclos (cada ciclo compreende um movimento completo de vaivém) de aproximadamente 30 segundos, com um deslocamento de cerca de 20 cm;



- Retirar a rolha. Utilizando a pisseta com a solução de trabalho lava-se a rolha para retirar o material aderido. Introduzir o tubo lavador. Lavar rapidamente as paredes e imediatamente inserir o tubo até o fundo da proveta. Agitar a camada de areia com o tubo lavador;





- Quando o líquido atingir a marca superior da proveta (38 cm) suspende-se o tubo lavador, sem deixar que esse nível se altere. Deixar em repouso por 20 minutos;



- Após os 20 minutos, medir e anotar o nível superior da suspensão argilosa (L1);



- Introduzir o pistão, cuidadosamente, na proveta até assentar completamente na areia. Girar a haste ligeiramente, até que um dos parafusos se torne visível. Determinar o nível do centro de um dor parafusos e adotá-lo como nível superior da areia (L2);



- É necessário realizar no mínimo 3 ensaios de equivalente de areia para a mesma amostra, ou seja o procedimento acima deve ser realizado 3 vezes;

6. RESULTADOS

- Calcular o equivalente de Areia para cada ensaio realizado:

$$EA = \frac{L2}{L1} x100$$

Onde:

L1 – Leitura do nível de argila;
L2 – Leitura do nível de areia;

- Logo após, realizar a média dos 3 valores de Equivalente de areia.

7. EXEMPLO

L1=3,2 cm

L2=27,2 cm

$$EA = \frac{3,2}{27,2} x100$$

$$EA = 11,8\%$$

8. REFERÊNCIAS

DNER-ME 054/97. *Equivalente de areia.* MT- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – GRANULOMETRIA POR SEDIMENTAÇÃO

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação da granulometria do solo, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Peneiras granulométricas com aberturas de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,0 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,30 mm, 0,15 mm e 0,075 mm;
- Tampa e fundo para peneira;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C;
- Recipiente metálico;
- Balança sensível a 0,1g;
- Balança sensível a 0,01g;
- Proveta;
- Carbonato de sódio;
- Água;
- Aparelho de dispersão.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

3.1 Preparação da Amostra

- Utilizar cerca de 2000 g da amostra preparada de acordo com o “Manual de Preparação de amostras”;



- Realizar a desagregação de torrões ainda existentes na amostra, com o auxílio do almofariz e mão de gral recoberta com borracha;



- Passar o material na peneira N° 10 (2,0 mm);



- Retirar cerca de 50 g do material passado na peneira n° 10 para determinação da umidade, 120g (solos arenosos) ou 70 g (solos argilosos) para ensaio de sedimentação.

3.2 Peneiramento Grosso

- Lavar o material retido na peneira N° 10, a fim de eliminar o material fino aderente às partículas de diâmetro maiores que 2,0 mm.
    - Observação: O material deve ser lavado na própria peneira;
- Dispor o material retido e lavado na peneira N° 10 em uma cápsula de alumínio;



- Submeter o material contido na cápsula de alumínio a secagem na estufa a 105° - 110° até a constância de peso;



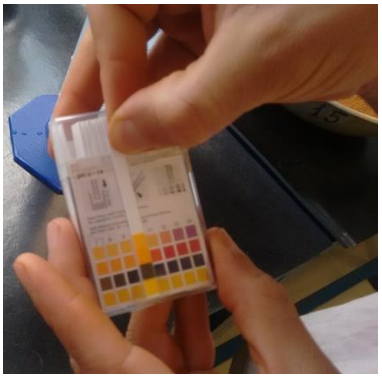
- Pesar o material após secagem em estufa. Resolução da balança: 0,1 g.
- Realizar o peneiramento do material nas peneiras de 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, 3/8”, n° 4 e n° 10;
- Realizar a pesagem dos materiais retidos em cada peneira. Resolução da balança: 0,1 g;



3.3 Sedimentação

- Preparação do defloculante: Pesar 45,7 g de hexametafosfato de sódio e diluir em um 1 litro de água destilada. Regular o pH da solução entre 8 e 9 utilizando carbonato de sódio;





- A solução só poderá ser usada, no máximo até 2 semanas, evitando a reversão da solução para ortofosfato de sódio;
- Misturar o material separado anteriormente (120 g para solos arenosos ou 70 g para solos argilosos) com 125 ml de defloculante;



- Agitar o recipiente até que o material fique totalmente molhado;



- Deixar em repouso no mínimo 12 horas;
- Transferir a mistura para o copo de dispersão;



- Remover com água destilada todo o material que tenha aderido ao recipiente;



- Adicionar água destilada até nivelar 5 cm abaixo das bordas do copo;
- Submeter a mistura à ação do aparelho de dispersão;
    - Tempo de dispersão:
        - 1 minuto para solos com grande porcentagem de mica;
        - 5 minutos para solos com índice de plasticidade menor ou igual a 5;
        - 10 minutos para solos com índice de plasticidade entre 6 e 20;
        - 15 minutos para solos com índice de plasticidade maior que 20.



- Transferir a mistura dispersada para uma proveta de 1000 ml. Remover cuidadosamente, com auxílio de uma seringa de borracha com água destilada, todo material que tenha aderido ao copo do aparelho de dispersão;





- Completar com água destilada até atingir a marca de 1000 ml;
- Colocar a proveta em um banho para que a mesma atinja a temperatura ambiente;
- Com auxílio de um bastão, agitar frequentemente as partículas, o tanto quanto possível, para que as mesmas fiquem em suspensão;
- Um minuto antes do ensaio, logo que a suspensão atinja a temperatura de equilíbrio, retira-se a proveta do banho e toma-se a proveta contendo a suspensão em uma das mãos e tampa lhe a boca com a outra mão;

- Executar movimentos energéticos de rotação, com duração de 1 minuto, de modo que a boca da proveta passe de cima para baixo e vice-versa;



- Colocar a proveta sobre uma mesa e anotar a hora exata do início da sedimentação;
- Mergulhar cuidadosamente o densímetro na suspensão;
    - Cuidados devem ser tomados para que a colocação ou retirada do densímetro na suspensão não permita que a mesma sofra agitação.



- Fazer leituras no densímetro correspondentes ao tempo de sedimentação, de 15 e 30 segundos, 1 e 2 minutos;
    - Realizar leituras na parte superior do menisco, com aproximação de 0,0002, após o densímetro ter ficado em equilíbrio.
- A cada leitura, deve-se medir a temperatura da suspensão com aproximação de 0,5°C;

- Retirar cuidadosamente e lentamente o densímetro e colocar o mesmo dentro de uma proveta com água destilada à mesma temperatura do ensaio;



- Realizar, subsequentemente leituras correspondentes aos tempos de 4,8,15,30 minutos e 1,2,3,8,12 e 24 horas ou mais se necessário;
    - O densímetro deve ser colocado cerca de 15 a 20 segundos antes de cada leitura.
- Com o material proveniente do ensaio de sedimentação, faz-se o peneiramento fino;

3.4 Peneiramento fino

- Lavar o material na peneira n° 200 utilizando água potável;



- Dispor o material retido e lavado na peneira n° 200 em uma cápsula de alumínio;
- Submeter o material contido na cápsula de alumínio a secagem na estufa a 105° - 110° até a constância de peso;



- Pesar o material após secagem em estufa. Resolução da balança: 0,1 g;

- Realizar o peneiramento do material nas peneiras n ° 16 (1,2 mm), n° 30 (0,60 mm), n° 40 (0,42 mm), n° 50 (0,30 mm), n° 100 (0,15 mm) e n° 200 (0,075 mm);
- Realizar a pesagem dos materiais retidos em cada peneira. Resolução da balança: 0,1 g;

4. REFERÊNCIAS

DNER-ME 051/94. *Solos – Análise granulométrica.* ME – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – ENSAIO DE GRANULOMETRIA SIMPLES

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação da granulometria do solo, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Peneiras granulométricas com aberturas de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,0 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,30 mm, 0,15 mm e 0,075 mm;
- Tampa e fundo para peneira;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C;
- Recipiente metálico;
- Balança sensível a 0,1g;
- Balança sensível a 0,01g;
- Béquer.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

3.1 Preparação da amostra

- Utilizar cerca de 2000 g da amostra preparada de acordo com o Manual da Instrução de execução – Preparação de amostras;
    - Retirar a amostra de acordo com a porcentagem de cada fração representa da amostra total.



- Realizar a desagregação de torrões ainda existentes na amostra, com o auxílio do almofariz e mão de gral recoberta com borracha;



- Peneirar o material na peneira N° 10 (2,0 mm);



- Retirar cerca de 50 g do material passado na peneira n° 10 para determinação da umidade e 200 g para peneiramento fino.

3.2 Peneiramento Grosso

- Lavar o material retido na peneira n° 10, a fim de eliminar o material fino aderente às partículas de diâmetro maiores que 2,0 mm. Obs.: O material deve ser lavado na própria peneira;
- Dispor o material retido e lavado na peneira n° 10 em uma cápsula de alumínio;



- Submeter o material contido na cápsula de alumínio a secagem na estufa a 105° - 110° em um período de 24 horas;



- Pesar o material após secagem em estufa. Resolução da balança: 0,1 g;
- Realizar o peneiramento do material nas peneiras de 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, 3/8”, n° 4 e n° 10;



- Realizar a pesagem dos materiais retidos em cada peneira. Resolução da balança: 0,1 g;



3.3 Peneiramento fino

- Retirar cerca de 200 g do material passado na peneira n° 10. Resolução da balança 0,1 g (Pa);
- Lavar-se o material na peneira n° 200 (0,075 mm);



- Dispor o material retido e lavado na peneira n° 200 em uma cápsula de alumínio;



- Submeter o material contido na cápsula de alumínio a secagem na estufa a 105° - 110° em um período de 24 horas;



- Realizar o peneiramento do material nas peneiras de n° 16 (1,2 mm), n° 30 (0,60 mm), n° 40 (0,42 mm), n° 100 (0,15 mm) e n° 200 (0,075 mm);



- Realizar a pesagem dos materiais retidos em cada peneira. Resolução da balança: 0,1 g.



4. RESULTADOS

- Elaborar tabela de resultados conforme abaixo:

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20					
2 pol	50,80					
1 1/2 pol	38,10					
1 pol	25,40					
3/4 pol	19,10					
1/2 pol	12,70					
3/8 pol	9,50					
nº 4	4,80					
nº 8	2,40					
nº 10	2,00					
nº 16	1,20					
nº 30	0,60					
nº 40	0,42					
nº 50	0,30					
nº 80	0,18					
nº 100	0,15					
nº 200	0,074					

Onde:

- Peso retido (g) será o valor retido em cada peneira;
- Porcentagem da amostra menor nº 10 é obtida através da fórmula:

$$\%\ \boldsymbol{amostra\ menor\ 10} = \frac{Peso\ retido\ (g)}{Total\ amostra\ menor\ Nº\ 10\ úmida} x100$$

- Porcentagem da amostra total é obtida através das seguintes fórmulas:
  - Para material grosso (retido na peneira nº 10):

$$\%\ \boldsymbol{amostra\ total} = \frac{Peso\ retido\ (g)}{Amostra\ total\ seca} x100$$

  - Para material fino (passante na peneira nº 10):

$$\%\ \boldsymbol{total} = \frac{\%\ amostra\ menor\ Nº10 * \%\ que\ passa\ nº\ 10}{100}$$

- Percentual acumulada é obtida através da fórmula:

$$\boldsymbol{\%\ acumulada} = \%\ amostra\ total + \%\ acumulada\ anterior$$

- Percentagem da amostra que passa da amostra total é obtida através da fórmula:

$$\%\ \boldsymbol{que\ passa} = 100 - \%\ acumulada$$

5. EXEMPLO

Peneira Pol/Nº	PENEIRA mm	MATERIAL RETIDO				PERCENTAGEM QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
		PESO RETIDO (g)	PERC. AMOSTRA MENOR Nº 10	PERC. AMOSTRA TOTAL	PERC. ACUMULADA	
3 pol	76,20	0,00		0,00	0,00	100,00
2 pol	50,80	0,00		0,00	0,00	100,00
1 1/2 pol	38,10	0,00		0,00	0,00	100,00
1 pol	25,40	48,40		2,42	2,42	97,58
3/4 pol	19,10	69,70		3,49	5,91	94,09
1/2 pol	12,70	70,00		3,50	9,41	90,59
3/8 pol	9,50	63,70		3,19	12,59	87,41
nº 4	4,80	279,00		13,95	26,54	73,46
nº 8	2,40	164,30		8,22	34,76	65,24
nº 10	2,00	19,50		0,98	35,73	64,27
nº 16	1,20	6,90	3,49	2,24	37,97	62,03
nº 30	0,60	5,20	2,63	1,69	39,66	60,34
nº 40	0,42	2,30	1,16	0,75	40,41	59,59
nº 50	0,30	3,70	1,87	1,20	41,61	58,39
nº 80	0,18	30,00	15,16	9,74	51,35	48,65
nº 100	0,15	22,20	11,22	7,21	58,56	41,44
nº 200	0,074	42,70	21,58	13,87	72,43	27,57

Peso retido= 6,90 g

$$\%\ \boldsymbol{amostra\ menor\ 10} = \frac{6{,}90}{200} x100$$

$$\%\ \boldsymbol{amostra\ menor\ 10} = 3{,}49$$

$$\%\ \boldsymbol{total} = \frac{3{,}49 * 64{,}27}{100}$$

$$\%\ \boldsymbol{total} = 2{,}24$$

$$\%\ \boldsymbol{acumulada} = 2{,}24 + 35{,}73$$

$$\%\ \boldsymbol{acumulada} = 37{,}97$$

$$\%\ \boldsymbol{que\ passa} = 100 - 37{,}97$$

$$\%\ \boldsymbol{que\ passa} = 62{,}03$$

6. REFERÊNCIAS

DNER-ME 080/94. *Solo – análise granulométrica por peneiramento.* MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – ENSAIOS DE LIMITES DE ATTERBERG

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a realização dos ensaios limites de Atterberg visando obter os valores do Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade do solo ensaiado, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Cápsula de porcelana com capacidade de 500 ml;
- Aparelho Casagrande;
- Espátula com lâmina flexível de cerca de 8 cm de comprimento e 2 cm de largura;
- Placa de vidro de superfície esmerilhada;
- Cilindro de comparação de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento;
- Recipientes que permitam guardar amostras sem perda de umidade antes de sua pesagem;
- Balança sensível a 0,01 g;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105 e 110ºC;
- Recipiente metálico;

3. PREPARAÇÃO DE AMOSTRA

- Da amostra separada para o Ensaio de Análise granulométrica, utilizar a fração restante que passou na peneira n° 10;
- Realizar a desagregação de torrões ainda existentes na amostra, com o auxílio do almofariz e mão de gral recoberta com borracha.
- Passar o material na peneira N° 40 (0,42 mm);
- Com auxílio de um repartidor de amostras ou pelo quarteamento, retirar cerca de 200 g da fração que passa na peneira n° 40.
    - 100 g para o ensaio de limite de Liquidez;
    - 100 g para o ensaio de limite de plasticidade.

4. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

4.1 Limite de Liquidez

- Colocar a amostra na cápsula de porcelana e adiciona-se água destilada suficiente para obter uma massa plástica;



- Colocar a amostra preparada no dessecador por 24 horas;



- Transferir com a espátula parte da massa obtida para a concha do aparelho;



- Realizar a moldagem na concha conforme a figura;



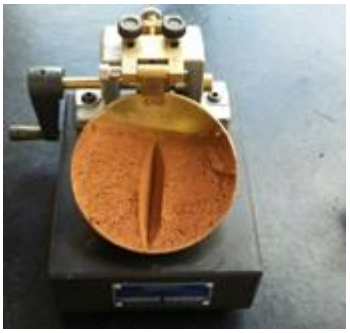
- A parte central deve ter a espessura aproximadamente de 1 cm.



- Abrir uma ranhura em seu centro, normalmente à articulação da concha;



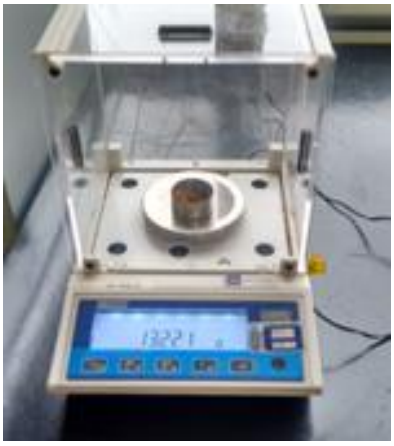
- Acionar a manivela realizando os golpes da concha contra a base do aparelho, com velocidade 2 golpes por segundo, até que os 2 bordos inferiores da ranhura se unam em 1 cm de comprimento;



- Anotar o número de golpes;
- Transferir com uma espátula, imediatamente, uma pequena quantidade do material que as bordas se uniram, para uma cápsula;



- Pesar a cápsula contendo o solo. Utilizar balança com sensibilidade de 0,001 g;



- Levar o conjunto para a estufa a 105°-110° C até a constância de peso para determinação da umidade;
- Retirar da estufa e realizar a pesagem. Utilizar balança com sensibilidade de 0,001 g;
- Transferir o restante da massa para a cápsula de porcelana;
- Repetir as operações anteriores com adições de água gradativamente crescentes de tal forma que os golpes necessários para unir as bordas da ranhura seja 50,40,30 e 10;

4.2 Limite de Plasticidade

- Colocar a amostra em uma cápsula de porcelana e adiciona-se água destilada suficiente para obter uma massa plástica;
- Colocar a amostra preparada no dessecador por 24 horas;



- Realizar a modelagem de uma forma esférica, conforme esfera abaixo;



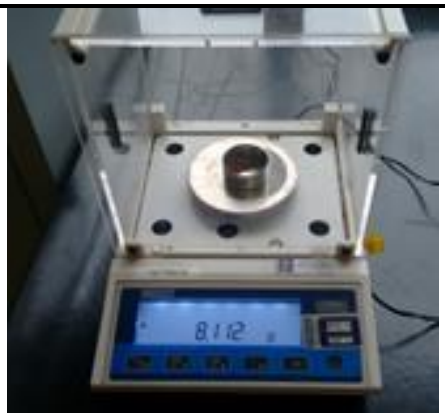
- Rolar essa massa sobre a placa esmerilhada com pressão suficiente na mão para lhe dar a forma de cilindro (cilindro de comparação);
    a. Este cilindro deve ser rolado sobre a placa esmerilhada até que no ponto final do estágio esteja com 3 mm de diâmetro e aproximadamente 10 cm de comprimento, ponto no qual o cilindro começa a se fragmentar.



- Cortar o cilindro de tal maneira que resulte em três pedaços. É importante lembrar que os bordos serão descartados;
- Transferir os pedaços para uma cápsula de alumínio;



- Pesar o conjunto: Cápsula + água + solo. Utilizar balança com sensibilidade de 0,001 g;



- Levar o conjunto para a estufa a 105° - 110° C até a constância de peso para determinação da umidade;
- Retirar da estufa e realizar a pesagem. Utilizar balança com sensibilidade de 0,001 g;
- Repetir as operações anteriores até que se obtenha no mínimo 3 (três) valores, que não difiram da respectiva média de 5%.

5. RESULTADOS

5.1 Limite de Liquidez

- Determina-se a umidade pela fórmula:

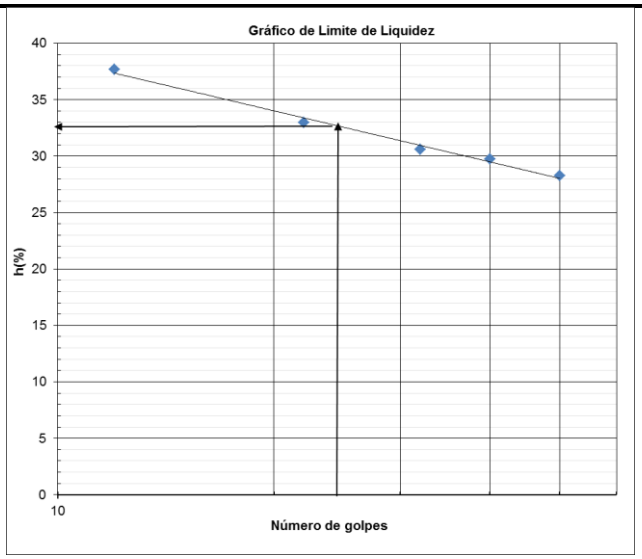
$$h = \frac{\mathbf{Ph - Ps}}{\mathbf{Ps}} * \mathbf{100}$$

Onde: h= teor de umidade em porcentagem

Ph = peso do solo úmido

Ps = peso do material seco em estuda a 105° - 110°C, até a constância de peso.

- Com os resultados obtidos, constrói-se um gráfico, no qual as ordenadas são os números de golpes e as abscissas são os teores de umidade correspondentes;
- O limite de Liquidez é expresso pelo teor de umidade correspondente à interseção da ordenada relativa a 25 golpes, com a reta dos pontos obtidos no gráfico acima referido.
    a. A reta deverá ser ajustada aos 5 pontos obtidos.



5.2 Limite de Plasticidade

- Determina-se a umidade pela fórmula:

$$h = \frac{\mathrm{Ph} - \mathrm{Ps}}{\mathrm{Ps}} * 100$$

Onde: **h**= teor de umidade em porcentagem

Ph = peso do solo úmido

Ps = peso do material seco em estuda a 105° - 110°C, até a constância de peso.

- O Limite de plasticidade é expresso pela média dos teores de umidade;
- A média é calculada através dos valores que estão dentro do limite de 5% da umidade média.

Tabela 1- Cálculo do Limite de Plasticidade

LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula nº								
Cápsula+Solo Úmido (g)								
Cápsula+Solo Seco (g)								
Peso da Água (g)								
Peso da Cápsula (g)								
Peso do Solo Seco (g)								
Teor de Umidade (%)								
Umidade Média			Limite Superior			Limite Inferior		
Verificação dos Limites								

6. EXEMPLO

Ph = 9,73 g

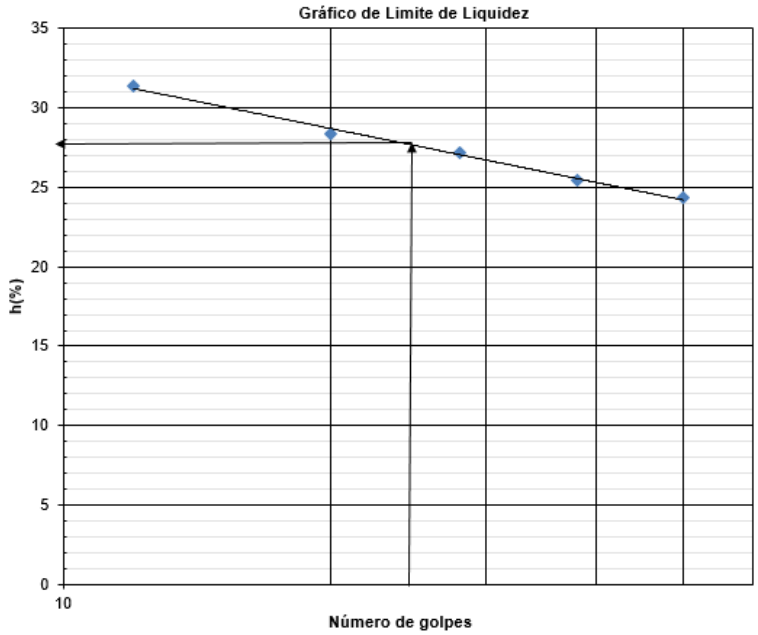
Ps = 8,01 g

$$h = \frac{9{,}73 - 8{,}01}{8{,}01} * 100$$

$$h = 21{,}47\ \%$$

LIMITE DE LIQUIDEZ

Cápsula nº	79	72	68	40	51			
Cápsula+Solo Úmido (g)	17,44	17,34	17,95	17,14	17,25			
Cápsula+Solo Seco (g)	15,72	15,58	16,02	15,26	15,23			
Peso da Água (g)	1,72	1,76	1,93	1,88	2,02			
Peso da Cápsula (g)	7,71	7,70	7,66	7,56	7,33			
Peso do Solo Seco (g)	8,012	7,879	8,359	7,701	7,904			
Teor de Umidade (%)	21,47	22,34	23,09	24,41	25,56			
Nº de golpes	50	38	28	20	10			



Média do teor de umidade

14,29	15,43	15,81	14,91	15,05

$$\text{Média} = \frac{14{,}29 + 15{,}43 + 15{,}81 + 14{,}91 + 15{,}05}{5}$$

$$\text{Média} = 15{,}098$$

5% abaixo da média	5% acima da média
15,048	15,85

Valores que ficaram dentro do permitido

15,43	15,81	14,91	15,05

Cápsula nº	13	50	17	93	28			
Cápsula+Solo Úmido (g)	9	9,18	9,11	8,31	9,61			
Cápsula+Solo Seco (g)	8,85	8,99	8,9	8,1	9,45			
Peso da Água (g)	0,15	0,19	0,21	0,21	0,16			
Peso da Cápsula (g)	7,80	7,76	7,57	6,69	8,39			
Peso do Solo Seco (g)	1,05	1,231	1,328	1,408	1,063			
Teor de Umidade (%)	14,29	15,43	15,81	14,91	15,05			
Umidade Média	15,10		Limite Superior		15,86	Limite Inferior		14,35
Verificação dos Limites		15,43	15,81	14,91	15,05			

Umidade Natural (h)	4,5	Índice de Consistência IC = (LL - h)/IP
Limite de Liquidez (LL)	23,5	
Limite de Plasticidade (LP)	15,3036	
Índice de Plasticidade (IP)	8,19641	2,32

7. REFERÊNCIAS

DNER-ME 082/94. *Solos – determinação do limite de plasticidade*. MT, Dep. Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil.

DNER-ME 122/94. *Solos – determinação do limite de liquidez*. MT, Dep. Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – ENSAIO DE MANCHA DE AREIA (DETERMINAÇÃO DA MACROTEXTURA)

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação da macro textura de um pavimento rodoviário, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Recipiente com volume conhecido e forma estabelecida por norma;
- A areia lavada e calibrada conforme tabela abaixo:

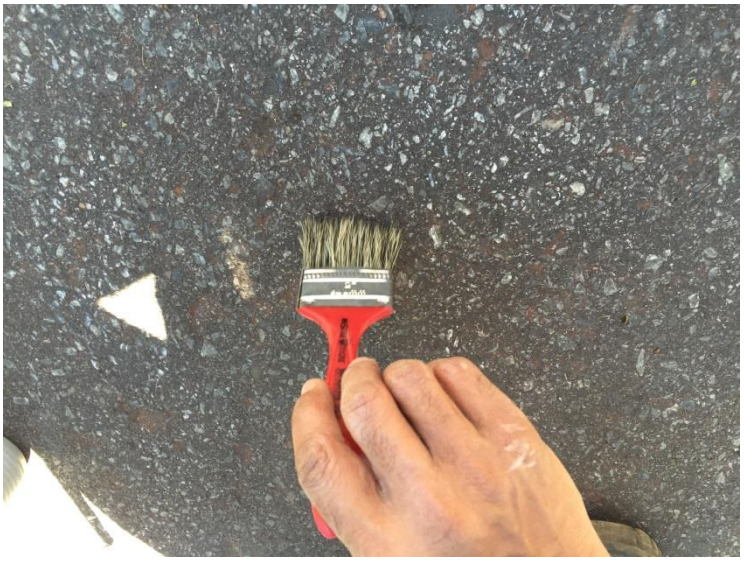
Tabela 1: Calibração da areia

Peneira nº	Diâmetro (mm)	% Passando
50	0,30	100
60	0,16	-
100	0,15	0

- Régua graduada.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Limpar a superfície do pavimento que será ensaiada;



- Enche-se o reservatório de areia, nivelando a areia com a borda com auxílio de uma régua;
- Utilizando a face inferior do recipiente, espalha-se a areia em movimentos circulares, formando uma mancha de areia redonda;



- Com o uso de uma régua ou trena, deve-se realizar 4 medidas do diâmetro da mancha;



- Após as 4 medidas, tira-se a média aritmética e utiliza o valor encontrado.

4. RESULTADOS

- A área da manha de Areia é calculada pela seguinte equação:

$$S = \frac{(\pi . D^2)}{4}$$

Onde:

S – área da mancha de areia, em cm²;

D – diâmetro da mancha.

- Calcula-se a altura HS da mancha de areia pela razão entra o volume V e a área S:

$$Altura\ da\ Areia\ HS = \frac{V}{S}\ em\ cm$$

- A altura pode ser associada ao conceito de macro textura através dos quadros a seguir:

Altura de Areia HS	Textura Superficial
HS < 0,20 mm	Muito Fina ou Muito Fechada
0,20 mm < HS < 0,40 mm	Fina ou Fechada
0,40 mm < HS < 0,80 mm	Média
0,80 mm < HS < 1,20 mm	Grosseira ou Aberta
HS > 1,20 mm	Muito Grosseira ou Muito Aberta

Quadro Comparativo			
Classes de Resistência à Derrapagem	**Macro Textura Superficial**	**Coeficiente de Atrito Longitudinal - CAL**	**Valor de Resistência à Derrapagem - VRD**
1 – Perigosa	-	< 0,24	< 25
2 – Muito Lisa	Muito Fina ou Muito Fechada	0,24 – 0,30	25 – 31
3 – Lisa	Fechada	0,31 – 0,37	32 – 39
4 – Pouco Rugosa		0,38 – 0,44	40 – 46
5 – Medianamente Rugosa	Média	0,45 – 0,51	47 – 64
6 – Rugosa	Grosseira ou Aberta	0,52 – 0,72	65 – 75
7 – Muito Rugosa	Muito Grosseira ou Muito Aberta	> 0,72	> 75

5. EXEMPLO

Diâmetro= 0,028 cm

$$S = \frac{(\pi . 0{,}028^2)}{4}$$

$$S = 0{,}00062 \text{ cm}^2$$

Volume= 0,000015 cm³

Área (encontrada anteriormente) = 0,00062 cm²

$$HS = \frac{0{,}000015}{0{,}000620}$$

$HS = 0{,}024$ cm → Textura fina ou fechada (Quadro Comparativo)

6. REFERÊNCIAS

DER-MG RT – 03.25. *Avaliação da Macro Textura de Pavimentos Viários Através do Ensaio de Mancha de Areia*. Dep. Nacional de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais, Brasil.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – DETERMINÇÃO DA MICROTEXTURA COM PÊNDULO BRITÂNICO

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação micro textura de pavimentos rodoviários através do pêndulo britânico, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Nível do tipo bolha;
- Pêndulo britânico;
- Régua graduada;
- Água;
- Termômetro.

3. NIVELAMENTO DO EQUIPAMENTO

- É necessário nivelar o Pêndulo no pavimento, utilizando a bolha de nivelamento.



4. CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO

- Deve-se “zerar” o pêndulo, afim que as medidas partam sempre do referencial zero;



5. REGULAGEM DE DESLIZAMENTO

- O equipamento deve ser regulado para que a área de contato do pavimento seja de 10 cm;
- A regulagem utiliza uma régua-gabarito. Libera-se o pêndulo no sentido horário e no anti-horário até o ajuste final.



6. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

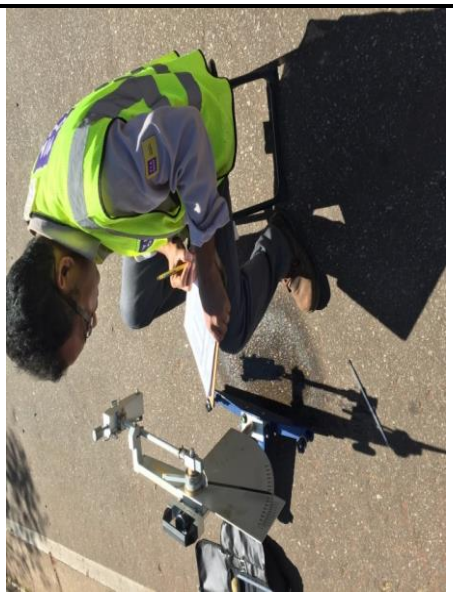
- Deve-se molhar a superfície afim que cubra toda a área de contato;



- Deve-se também medir a temperatura do pavimento;



- Realiza-se cinco medidas em cada trilho de roda. Libera-se o pêndulo e faz-se a leitura correspondente
- A primeira medida é sempre desprezada;
- Ou seja, iremos utilizar apenas 4 medidas de cada trilho de roda;



- O resultado final corresponde à média das 4 medidas que iremos utilizar para classificar o pavimento, em termos de microtextura, como mostra a tabela abaixo. O resultado é dado em BPN (*British Pendulum Number).*

Tabela 1: Classificação do pavimento

Classificação	Limites de BPN
Perigosa	< 25
Muito Lisa	25 – 31
Lisa	32 – 39
Insuficientemente Rugosa	40 – 46
Medianamente Rugosa	47 – 54
Rugosa	55 – 75
Muito Rugosa	> 75

7. RESULTADOS

A tabela a seguir apresenta as medidas de um ensaio para avaliação da microtextura do pavimento. O resultado é obtido pela média das quatro medidas realizadas, sendo necessário

uma fricção anteriormente ao registro dos dados. A temperatura no pavimento deve ser registrada.

PÊNDULO BRITÂNICO					
L2	L3	L4	L5	Média (VRD)	Temp. (°C)
44	55	55	35	47,25	39°C
43	55	41	40	44,75	39°C
80	80	70	74	76,00	39°C
75	70	79	82	76,50	39°C
85	83	88	79	83,75	39°C

8. REFERÊNCIAS

ASTM E303-93 (2013). *Standart Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*. American Society for Testing and Materials, International.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE MISTURAS ASFÁLTICAS (COMPRESSÃO DIAMETRAL)

1. OBJETIVO

Apresenta a metodologia executiva do ensaio para determinação do Módulo de Resiliência de misturas asfálticas, desde a preparação do corpo de prova até a obtenção dos resultados do ensaio.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Conjunto Triaxial Dinâmico para realização de ensaios sob carga repetida composto por: conjunto de moldagem, compressor, desumidificador de ar, estabilizador de pressão, sistema de controle e aquisição de dados, sistema de aplicação de carga, transdutores de tensão, câmara de controle de temperatura, sensores tipo LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) e computador instalado com software específico.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

3.1 Preparação da amostra

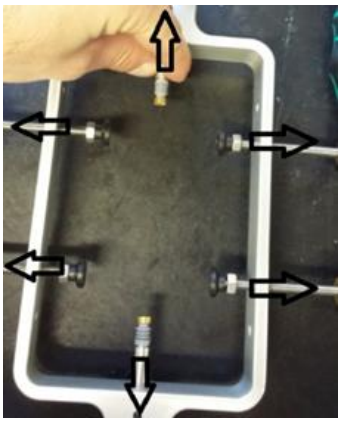
- Corpo de prova extraído in situ – extratora rotativa (diâmetro de 10 cm).
- Corpo de prova moldado em laboratório – avaliação do desempenho de diferentes dosagens de misturas asfálticas (dosagem em equipamento Marshall ou giratório).

3.2 Aparelhamento do corpo de prova.

- Regular a altura do suporte do conjunto de apoio do corpo de prova, travar as borboletas para fixar a altura.
    - Os LVDT´s horizontais devem coincidir com a linha que divide o corpo de prova ao meio (para CP´s com 10 cm de diâmetro já foi confeccionado um gabarito auxiliar).



- Afastar os fixadores do corpo de prova e os LVDT´s para o posicionamento prévio do corpo de prova no conjunto de suporte (ver figura).



ATENÇÃO: os LVDT´s são muito sensíveis, portanto é importante afastá-los o suficiente para que não ocorra contato brusco no momento da inserção do corpo de prova no suporte.

- Posicionar o corpo de prova de forma que ele fique centralizado no conjunto de suporte.
- Após centralizar, fixar a posição do corpo de prova através dos quatro contatos laterais. Para realizar o aperto dos parafusos, utilizar torquímetro momento de 0,4 N.m nos quatro contatos.



- No dispositivo de controle dos LVDT´s, liberar os parafusos verticais e aproximar os sensores próximos ao contato com o CP. Reapertar os parafusos verticais e realizar a aproximação fina através do parafuso horizontal.
    - OBSERVAÇÃO: o ajuste fino e definitivo será feito com auxílio do software (Janela “Levels”), conforme explicação posterior.



- Instalar dispositivo de ensaio de misturas asfálticas na base do equipamento e inserir barra horizontal de aplicação de carga.

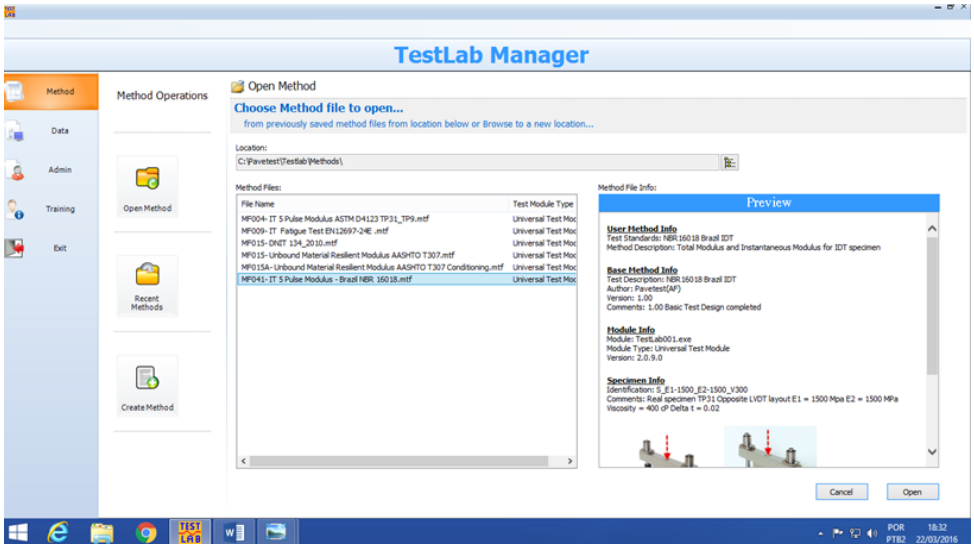


- Abaixar o dispositivo vertical de aplicação de carga dinâmica até próximo ao contato com a barra horizontal
    - ATENÇÃO: Não esquecer de travar a rosca superior do atuador, caso contrário, no momento de aplicação da carga dinâmica o conjunto irá se mover e o ensaio será perdido.



4. REALIZAÇÃO DO ENSAIO

- Antes de ligar o compressor e o desumidificador de ar, ligar o computador e o sistema de controle e aquisição de dados.
- Abrir o software TestLab e selecionar:
  - METHOD → OPEN METHOD → MF041-IT 5 Pulse Modulus – Brazil NBR 16018.

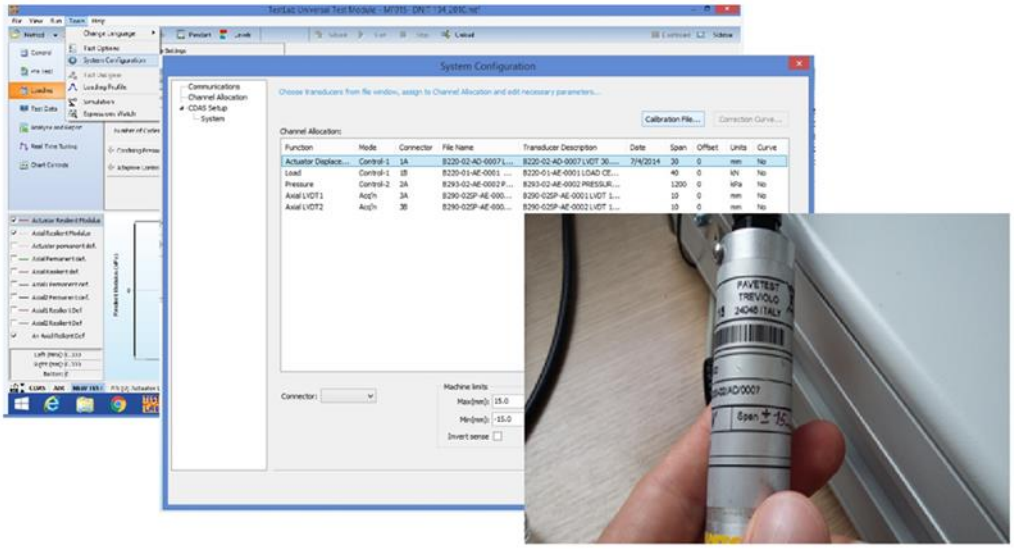


- De forma idêntica ao ensaio de MR em Solos, verificar se os indicadores USB e CDAS aparecem em cor verde.
- Associar todos os sensores a cada canal específico no sistema de controle e aquisição de dados de forma semelhante à realizada no ensaio em solos.
  - TOOLS → SYSTEM CONFIGURATION
  - Plugar cada sensor a seu canal específico no sistema de controle e aquisição de dados (16 canais disponíveis – 1 a 4; A a D).

- OBSERVAÇÃO: os LVDT´s verticais não são utilizados nesse ensaio, bem como o sensor de tensão confinante. São utilizados os LVDT´s horizontais, dois sensores de temperatura no CP padrão (interno e externo), além dos sensores do atuador e da célula de carga (os dois últimos utilizados em ambos os ensaios).



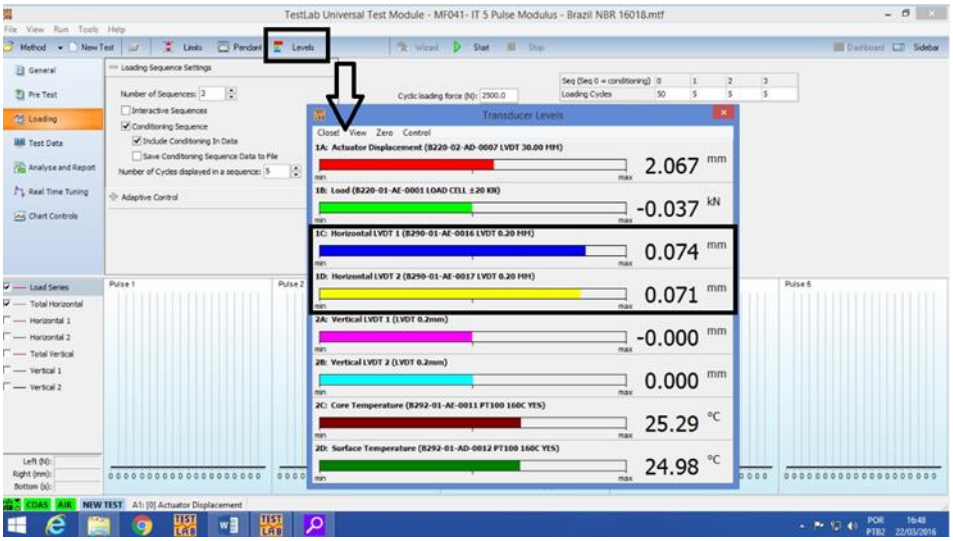
- Em “Calibration File”, associar os arquivos de calibração a cada um dos sensores utilizados (olhar pelo número serial registrado nos mesmos, pelo tipo de sensor e unidade de medida correspondente).



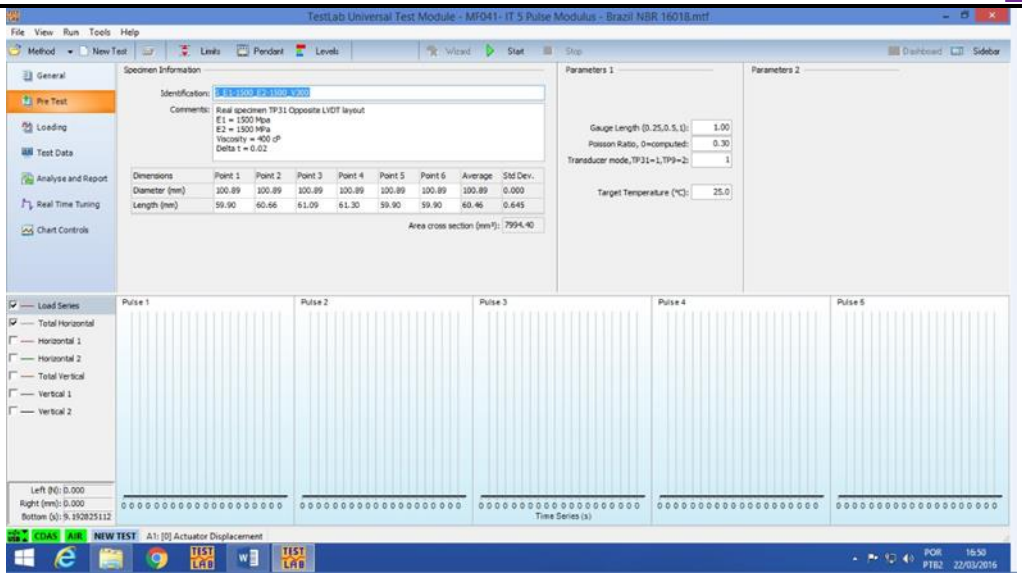
- Após essa avaliação, o compressor e o desumidificador podem ser ligados. Não esquecer de abrir a válvula de entrada do desumidificador.
  - ATENÇÃO: monitorar com frequência o manômetro do regulador e estabilizador de pressão (pressões acima de 0,8 Mpa devem ser evitadas). O compressor foi programado para ser desativado automaticamente com valores de pressão elevados, no entanto é importante monitorar também a pressão no compressor.



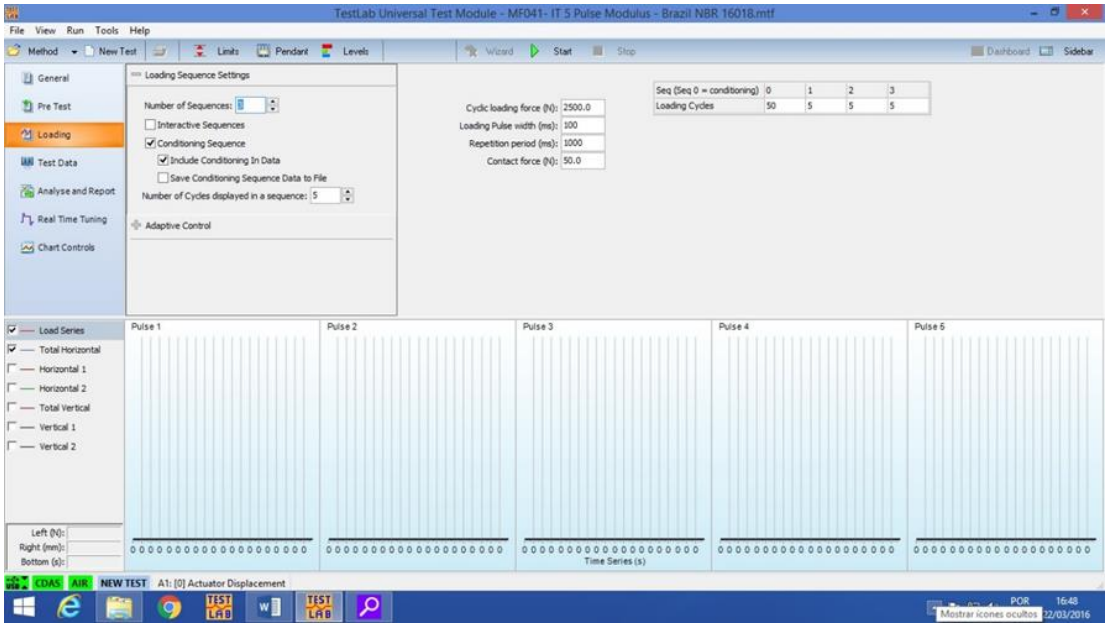
- Para realizar o ajuste definitivo dos LVDT´s horizontais, proceder da seguinte forma:
    - Abrir a janela “Levels” e ajustar o LVDT até que a indicação no painel esteja próxima de 0,07 mm (como a variação de leitura desse LVDT é muito curta, é importante que essa recomendação seja obedecida).



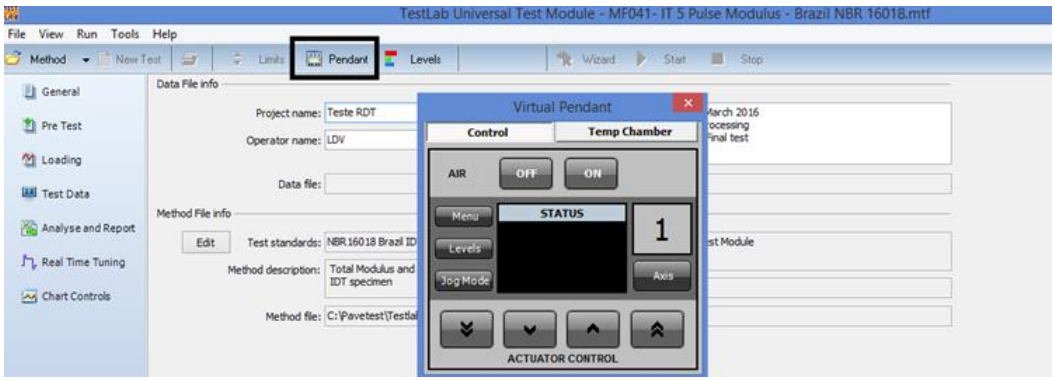
- No campo “Pre Test”, informar seis leituras do diâmetro e altura do CP. Em “Parameters 1”, utilizar os seguintes parâmetros:
    - Gauge Lenght: 1 (diâmetro cheio)
    - Poisson Rate: 0,3 (conforme recomendação da norma ABNT NBR 16018)
    - Transducer Mode: 1 (TP31)
    - Target Temperature: 25 ºC (informação apenas ilustrativa, pois a temperatura é controlada diretamente na câmara de ensaio).



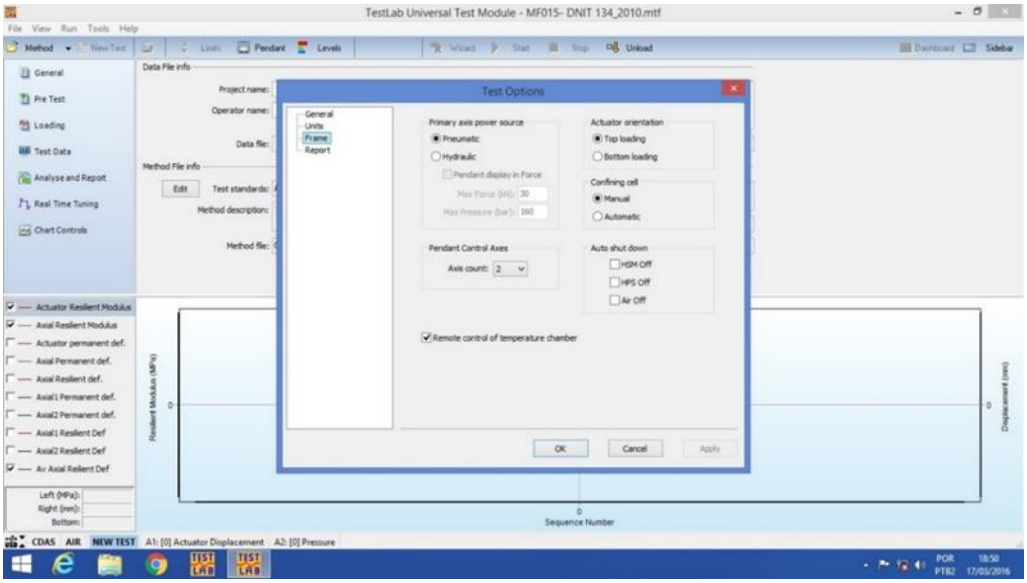
- No campo “Loading”:
  - “Number of sequences”: 3 sequências (conforme norma ABNT NBR 16018)
  - Etapa condicionante – ativar “Conditioning Sequence”
  - Registro de dados – ativar “Include Conditioning in Data” para registrar os dados dessa etapa do ensaio.
  - Carga utilizada no ensaio – deve ter valor entre 10% a 20% da resistência à tração por compressão diametral média obtida.
  - “Loading Pulse width” = 10 ms (conforme norma ABNT NBR 16018).
  - “Repetition Period” = 1000 ms (conforme norma ABNT NBR 16018).
  - “Contact Force” – a norma determina que seja utilizado uma força de contato constante entre 25 N e 75 N (está sendo utilizado o valor de 50 N).
  - Na fase condicionante, aplicar 50 ciclos de carregamento. Após essa etapa, aplicar 15 ciclos de carregamento divididos em três sequências de 5 ciclos cada.



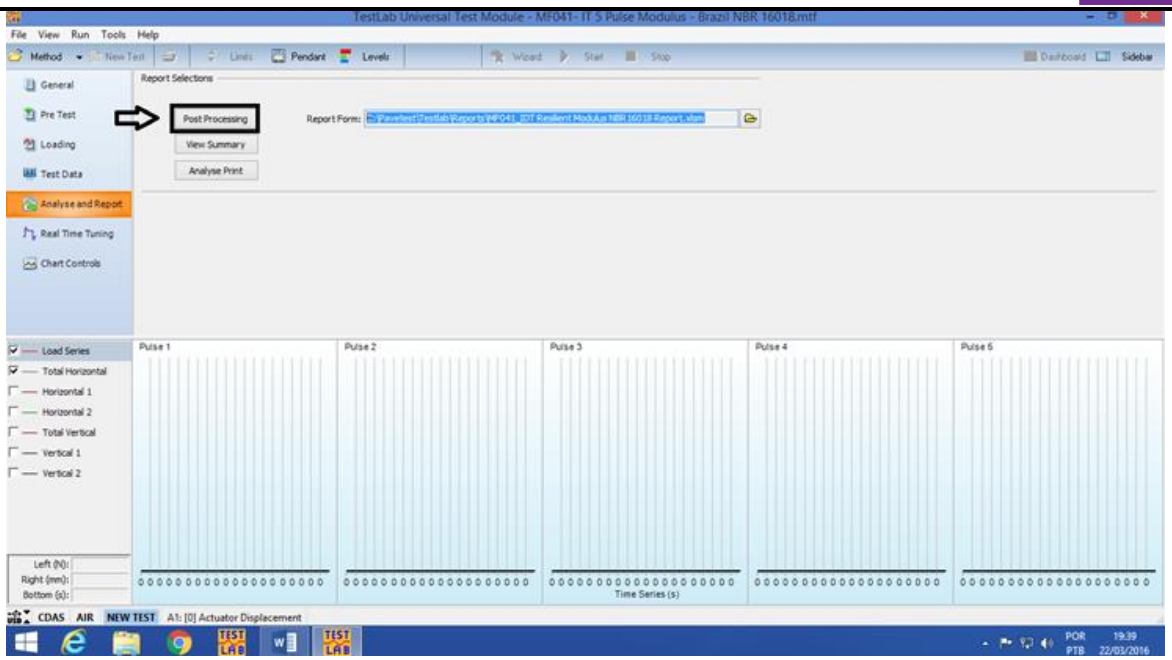
- Em “Pendant” é possível controlar a posição do atuador (Axis 1), nesse ensaio Axis 2 está inativo. Para liberar pressão para o dispositivo de controle e regularização de pressão é necessário ativar o botão “On”.



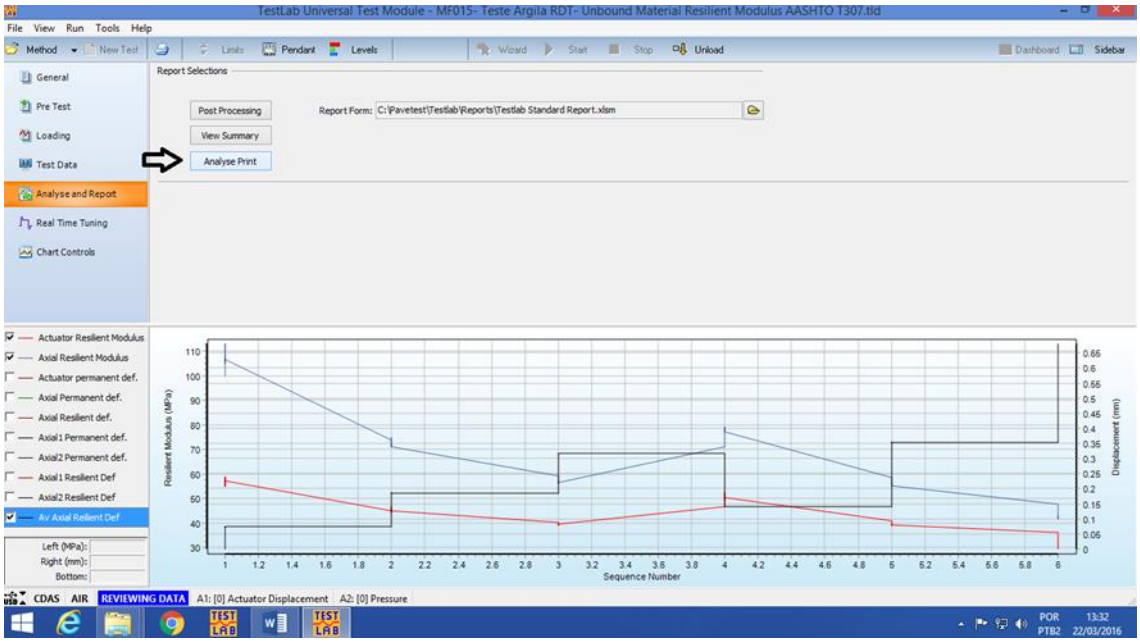
  - OBSERVAÇÃO: como o atuador tem um limite de deslocamento de 15 mm, antes do início do ensaio é importante ajustar manualmente a posição do mesmo para que fique próximo do contato com a barra horizontal de aplicação de carga.
- Conferir em TOOLS - TEST OPTIONS - FRAME se as seguintes informações estão conforme a figura abaixo (como nesse ensaio Axis 2 está inativo, em “Axis Count” pode ser informado o valor 1):



- Para iniciar o ensaio, clicar em “Start”.
  - ATENÇÃO: após iniciar o ensaio, é importante ficar atento a qualquer ruído estranho ou outra anormalidade, caso ocorra apertar imediatamente o botão “Stop”.
- Após o término do ensaio, para exportar os dados do ensaio para arquivo Excel proceder da seguinte forma:
  - Selecionar C:\Pavetest\Testlab\Reports\MF041_IDT Resilient Modulus NBR16018 Report.xlsm e em seguida clicar em “Post Processing”



- Clicar em “View Summary” e, em seguida, em “Analyse Print”



- Será criado um arquivo Excel com todos os dados do ensaio.

5. REFERÊNCIAS

ABNT, NBR. 16018: 2011 (2011) **Misturas asfálticas – Determinação da rigidez por compressão diametral sob carga repetida**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE SOLOS

1. OBJETIVO

Apresenta a metodologia executiva do ensaio para determinação do Módulo de Resiliência de Solos, desde a preparação do corpo de prova até a obtenção dos resultados do ensaio.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Conjunto Triaxial Dinâmico para realização de ensaios sob carga repetida composto por: conjunto de moldagem, compressor, desumidificador de ar, estabilizador de pressão, sistema de controle e aquisição de dados, sistema de aplicação de carga, transdutores de tensão, sensores tipo LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) e computador instalado com software específico.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

3.1 Preparação da amostra

3.1.1 Solos com baixa percentagem de pedregulho

- Realizar a secagem do material ao ar, destorroamento com mão de gral, quarteamento e peneiramento na peneira com abertura nominal de 4,8 mm.
- Determinar a umidade higroscópica do material e adicionar quantidade de água necessária para que a condição de umidade ótima seja atingida. O material deve ser bem homogeneizado e ensacado rapidamente, para evitar perda de umidade. O mesmo deve repousar em ambiente úmido por um período mínimo de 12 horas antes da compactação.

3.1.2 Solo pedregulhoso

- Deve ser obedecida a relação de diâmetro máximo do agregado para o diâmetro do corpo de prova de 1:5, sendo necessário proceder o escalpe de fração grossa, em caso de desconformidade a essa relação. Em caso de escalpe na fração retida na peneira de 19,1 mm, substituir a fração eliminado por mesma quantidade em peso de material compreendido entre as peneiras de 19,1 mm e 4,8 mm. Se o escalpe for realizado com material retido na peneira de 9,5 mm, substituir por igual peso de material compreendido entre este diâmetro e 2,0 mm.
- O tempo mínimo de repouso do material ensacado, após a correção de umidade, é de 6 horas.

3.2 Preparação do corpo de prova.

- Definir energia de compactação (normal, intermediária e modificada) e moldar na condição de densidade máxima e umidade ótima da energia especificada. De forma alternativa, pode-se moldar o corpo de prova nas condições in situ (parâmetros retirados dos ensaios Frasco de Areia/Cilindro de cravação e umidade).
- Geometria do corpo de prova:
  Altura de 20 cm e diâmetro de 10 cm
- Conhecido o volume do corpo de prova, a densidade a ser alcançada e a umidade, calcula-se a quantidade de material a ser compactado.
- Dividir a massa encontrada em 4 camadas.
- Antes de iniciar a compactação: Untar as paredes do molde cilíndrico com vaselina ou óleo apropriado e utilizar papel filtro no suporte base do compactador.
- Após a extração do corpo de prova, realizar as medidas das dimensões de interesse do corpo de prova.

3.1.3 Aparelhamento do corpo de prova

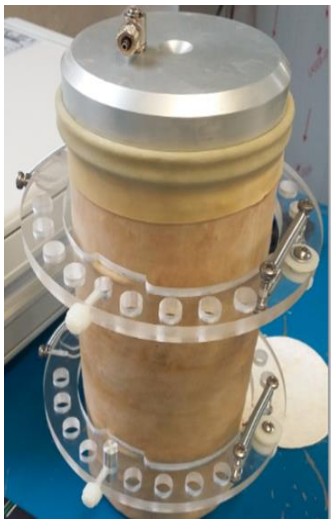
- Colocação de membrana de látex: deixar sobras da membrana nas duas extremidades para enrolar sobre os anéis de borracha que fixam a membrana nos discos de base e topo.



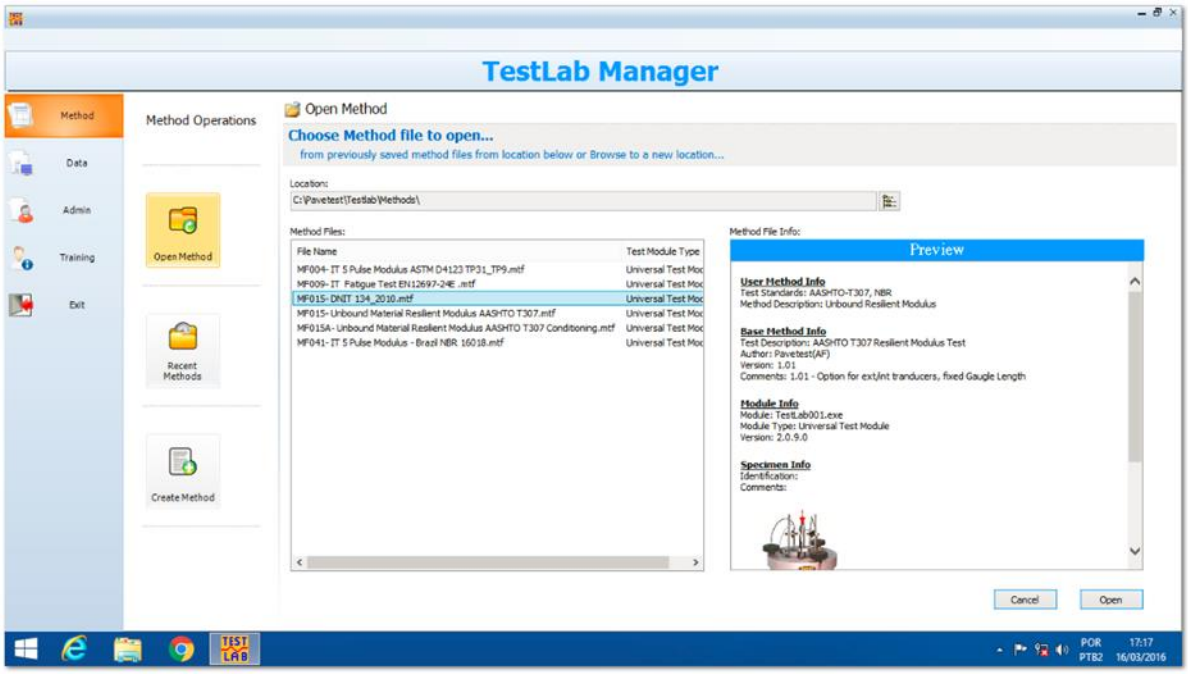
- Posicionar os dois anéis de borracha no topo e base do corpo de prova. Inserir papel filtro no topo do CP e posicionar o disco metálico superior.



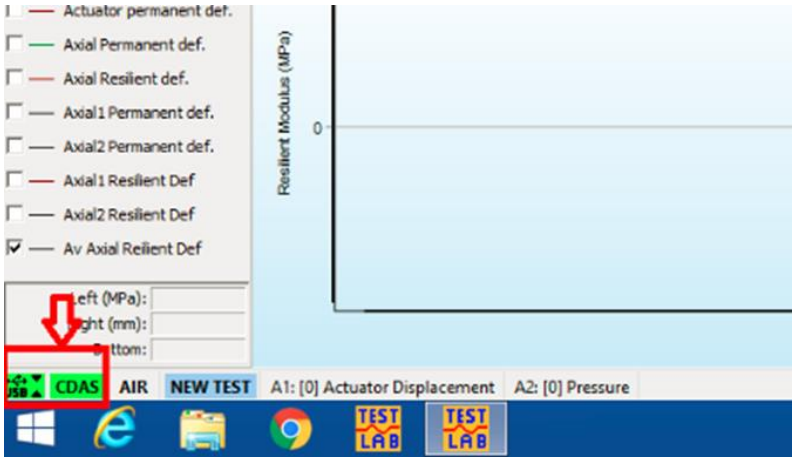
- Posicionar definitivamente os anéis de borracha no disco metálico superior (existem dois frisos para encaixe dos anéis).
- Enrolar o excesso de membrana superior sobre os anéis de borracha.
- Colocação dos anéis de suporte dos LVDT´s de medição de deformação vertical. OBSERVAÇÃO: o anel inferior tem uma pequena plataforma cilíndrica de suporte dos LVDT´s.
    - IMPORTANTE: é indispensável que o anel de suporte superior esteja perfeitamente alinhado com o inferior. Caso contrário os LVDT´s não se apoiarão adequadamente.



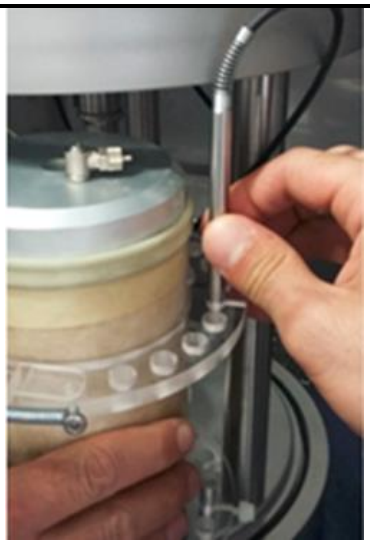
- Ligar o computador.
- Ligar o sistema de controle e aquisição de dados.
- Abrir o software TestLab e selecionar:
    - METHOD → OPEN METHOD →MF015 - DNIT_134_2010
    - Se for aplicada a fase de condicionamento, abrir o arquivo MF 015 A – DNIT_134_2010 – Condicionamento



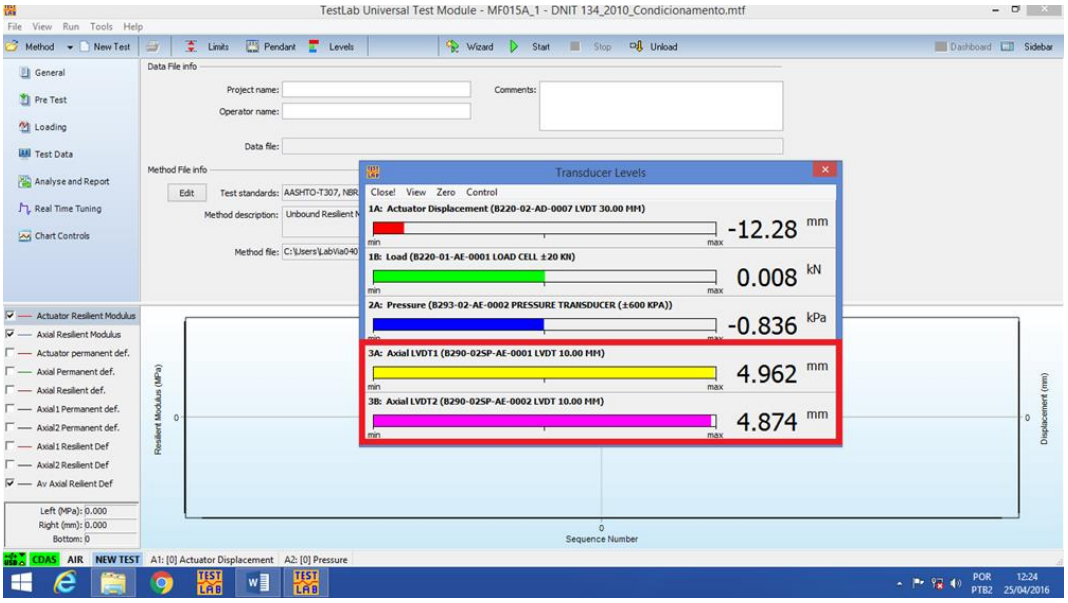
- Conferir se os indicadores USB e CDAS estão ativos (cor verde).
    - Se esses indicadores não estiverem verdes, significa que o sistema de controle e aquisição de dados está inativo. Dessa forma, não se tem controle sobre a pressão gerada pelo compressor.



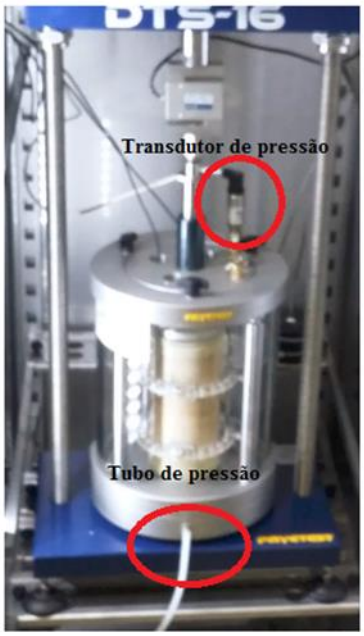
- A distância entre os anéis de suporte deve ser de 100 mm (esse valor está informado no software). Adicionalmente, os anéis de suporte devem estar centralizados no corpo de prova. Para isso, utilizar os gabaritos confeccionados com as medidas padronizadas.
- Aproximar o corpo de prova para a instalação dos LVDT´s. Os parafusos rosqueáveis de plástico devem ser totalmente afrouxados para que os sensores passem na abertura. É necessário conferir e corrigir a distância entre os anéis de suporte após manipulação para inserção dos LVDT´s com os gabaritos.



- Com o software ligado, no campo “Levels”, verificar o contato dos LVDT´s (os valores devem ser inferiores a 5,000 mm, indicando o contato efetivo).

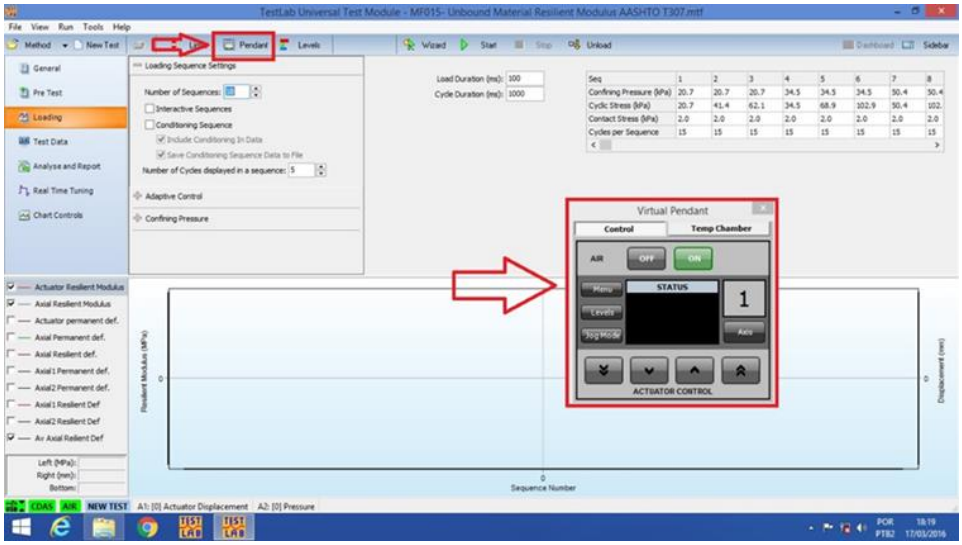


- Abaixar e posicionar a cúpula de confinamento, fechando-a através de três “borboletas” rosqueáveis.
- Por fim, plugar o transdutor de tensão na parte fixa superior da cúpula e o tubo de pressão na entrada inferior. A figura a seguir ilustra o equipamento após essas etapas.



3.1.4 Realização do ensaio

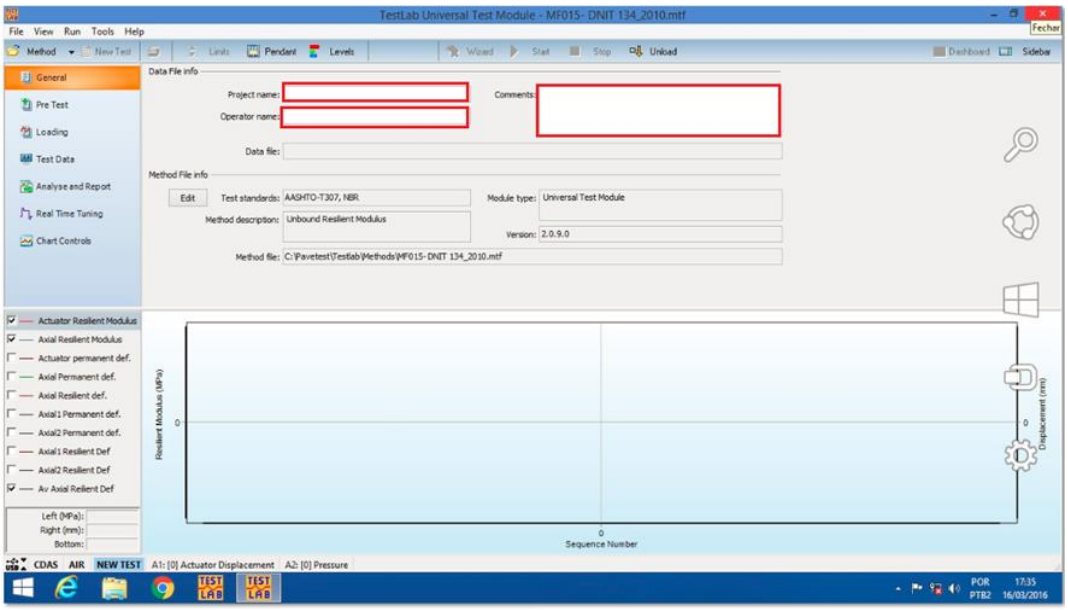
- Ligar o desumidificador de ar e o compressor (não esquecer de abrir a válvula de entrada do desumidificador).
- Em “Pendant”, ligar o sistema de estabilização de pressão (“ON”).



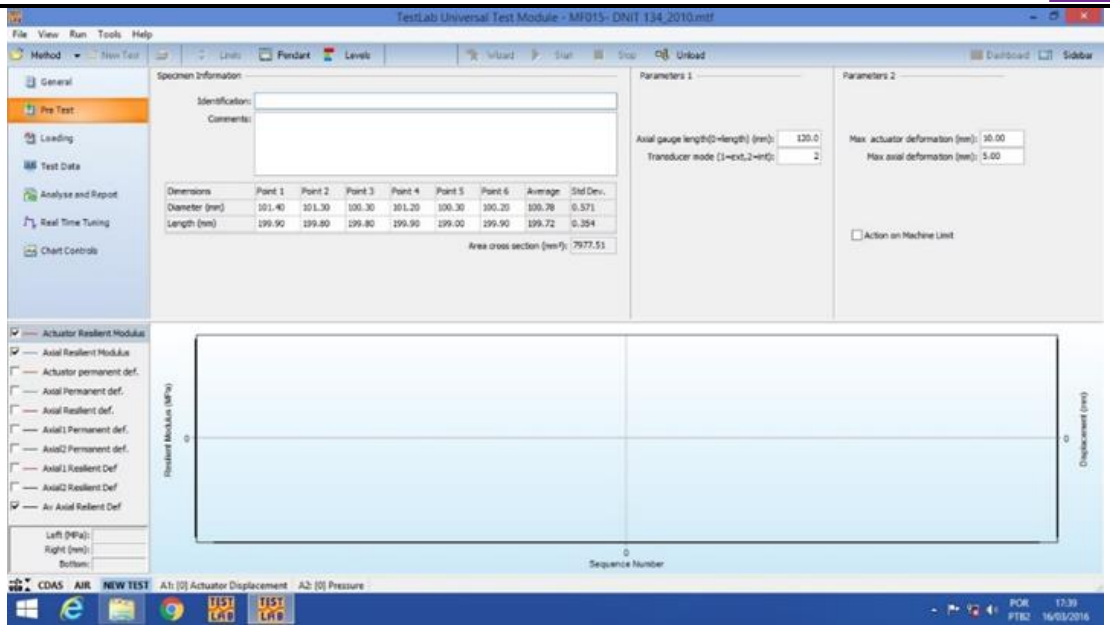
- Em “Pendant” é possível controlar a posição do atuador (Axis 1) e a tensão confinante (Axis 2).
- Aguardar que o estabilizador de pressão registre 0,5 MPa (marcação verde). É importante sempre monitorar a pressão no sistema (não deve exceder 0,8 MPa no estabilizador de pressão).



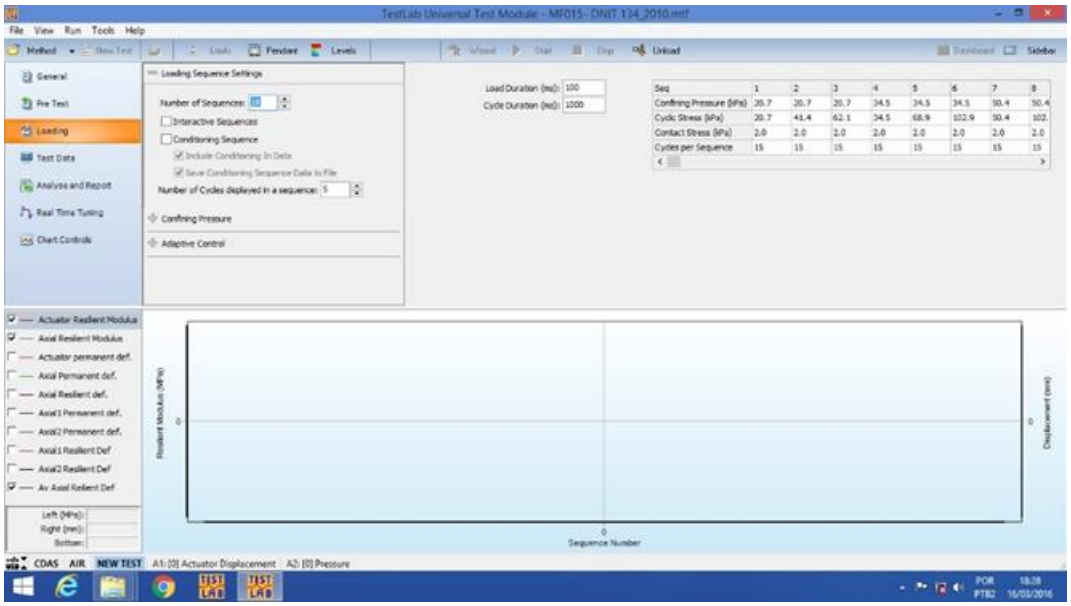
- No campo “General”, devem ser informados apenas dados gerais do projeto em estudo (Nome do Projeto, Nome do Operador, Comentários Gerais).



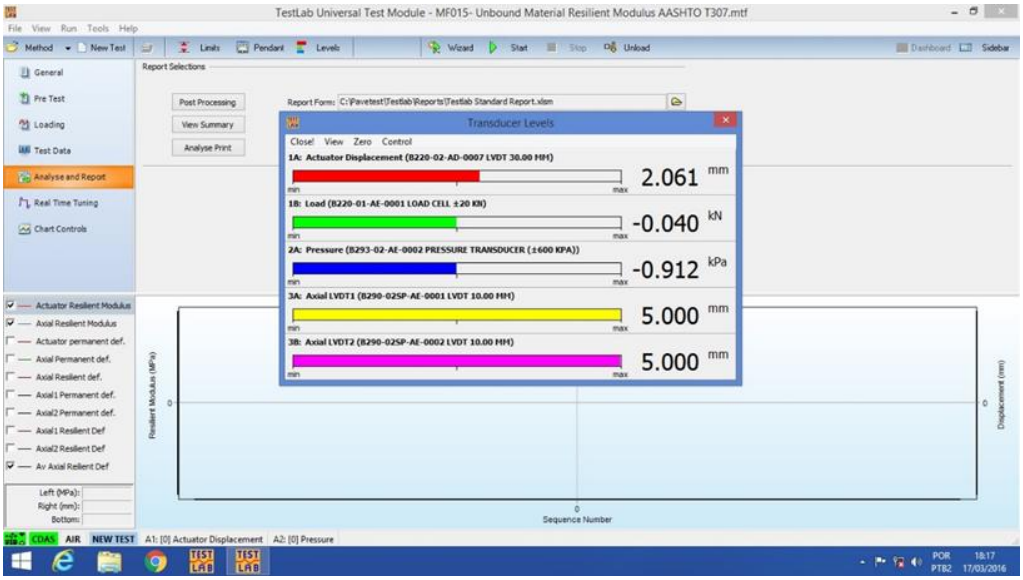
- No campo “Pre Test” (valores pré-definidos – exceto medidas de diâmetro):
  - Informar os valores de 6 medições do corpo de prova (Diâmetro e Altura).
  - Em “Parameters 1:
    - Axial Gauge Length – distância entre os anéis de suporte do LVDT = 100 mm (se a distância for diferente, informar a distância medida).
    - Transducer Mode = sempre utilizar 2 (modo dos LVDT´s).
  - Em “Parameters 2” (indicam os critério de parada – deformações máximas permitidas)
    - Max. actuator deformation: 10,00 mm (deslocamento medido no atuador) – valor sugerido pela Solotest.
    - Max. axial deformation: 5,0 mm (deslocamento medido nos LVDT´s) – valor sugerido pela Solotest.



- No campo “Loading” (valores pré-definidos):
  - O padrão de carregamento foi configurado conforme norma DNIT 134-2010. Portanto, os valores que constam na Tabela 2 da referida norma foram imputados no método executado pelo software.
  - Observação: Em “Contact Stress” utilizar o valor de 2,0 KPa (valor recomendado pela Solotest). Na 15ª sequência alterar para 2,5 KPa. Nas sequências seguintes, utilizar o valor de 3,0 KPa.
  - Duração do carregamento – “Load Duration” = 100 ms (conforme norma DNIT 134 – 2010)
  - Frequência do carregamento – “Cycle Duration” = 1000 ms (conforme norma DNIT 134-2010).



- Para monitorar em tempo real os níveis de tensão no equipamento e as leituras dos outros sensores utilizados no ensaio, abra a janela “Levels” – disponível na barra de ferramentas superior.

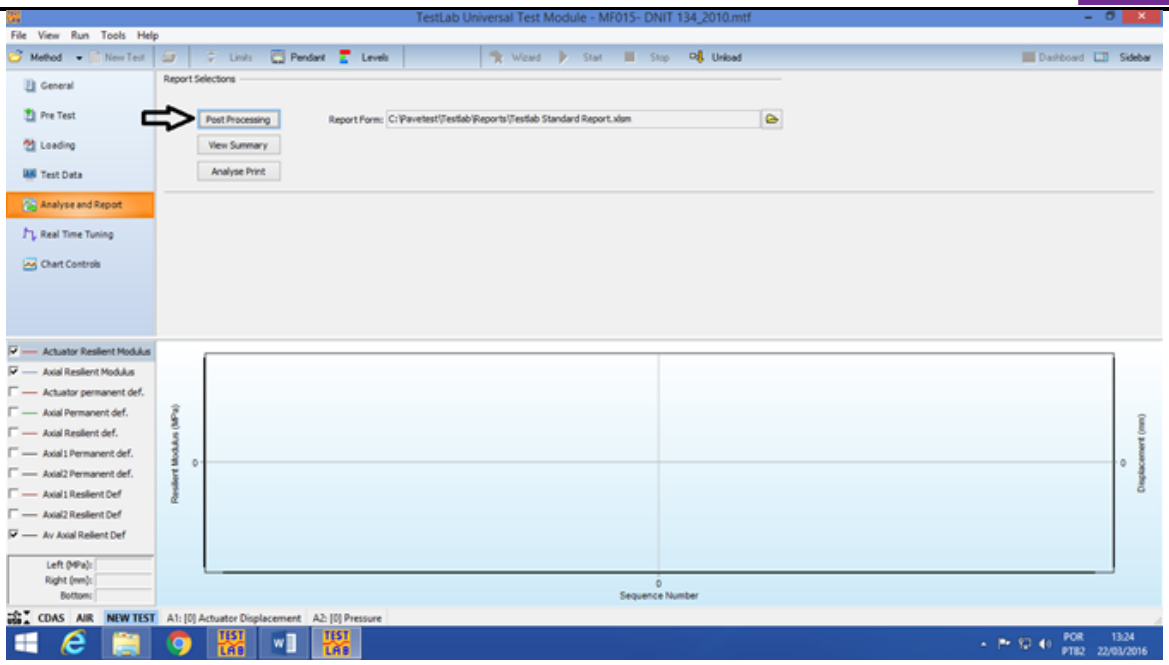


Observação: como o atuador tem um limite de deslocamento de 15 mm, antes do início do ensaio é importante ajustar manualmente a posição do mesmo para que fique próximo do contato com o pistão de aplicação de carga.

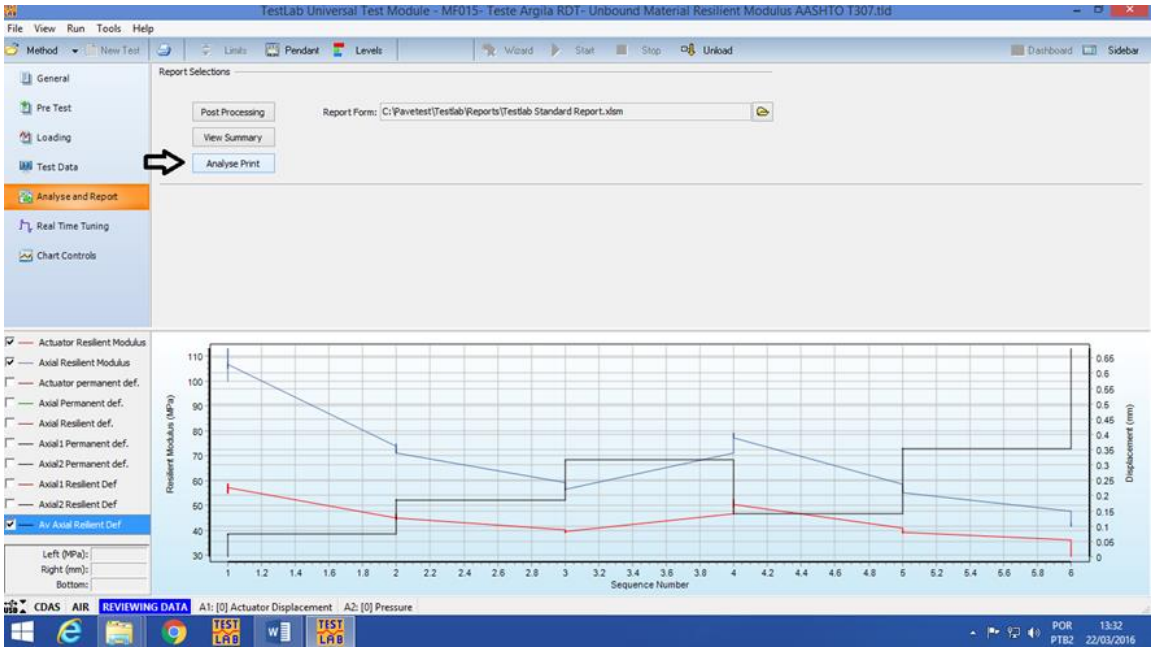
- Para iniciar o ensaio, clicar em “Start”.
    - Atenção: após iniciar o ensaio, é importante ficar atento a qualquer ruído estranho ou outra anormalidade, caso ocorra apertar imediatamente o botão “Stop”.
- Aguardar o término do ensaio acompanhando de perto sua execução. Caso ocorra ruído anormal ou situações fora do esperado, suspender o ensaio imediatamente apertando o botão “Stop”.

3.1.5 Registro dos Dados

- Para salvar os dados gerados no Test Lab:
    - “File” → “Save Data As” → Nomear o arquivo adequadamente e escolher pasta apropriada.
- Para exportar os dados do ensaio para arquivo Excel proceder da seguinte forma:
    - Selecionar C:\Pavetest\Testlab\Reports\Testlab Standard Report.xlsm e clicar em “Post Processing”



- Clicar em “View Summary” e,
- Em seguida, clicar em “Analyse Print”



- Será criado um arquivo Excel com todos os dados do ensaio (Arquivo → Salvar Como → Nomear o arquivo adequadamente e escolher pasta apropriada.

4. RESULTADOS

Por definição, o módulo de resiliência é a relação entre a tensão desvio aplicada no corpo de prova e a correspondente deformação específica vertical resiliente que ela provoca. É obtido pela seguinte equação:

$$MR = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \quad (1)$$

Onde:

- $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ (tensão desvio dinâmica aplicada no eixo axial do corpo de prova);
- $\varepsilon_r = \frac{\Delta h}{H_0}$

Δh → deformação recuperável registrada pelo computador;

H_0 → distância entre as alças de apoio dos LVDT's

O resultado do ensaio são 18 valores de módulo de resiliência calculados conforme exposto acima. Cada valor corresponde a um par de tensões desvio e confinante. Como o sistema de execução do ensaio é computadorizado, os módulos obtidos em cada repetição de carga são calculados automaticamente segundo a relação apresentada na equação apresentada anteriormente.

5. EXEMPLO

A seguir está apresentado a forma de apresentação dos resultados de um ensaio para determinação do módulo de resiliência de solos. O módulo é apresentado em função da tensão desvio e tensão confinante, resultando em duas equações finais.

FORMULÁRIO	PAGINA Nº	1/1
ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA - SOLOS	VERSÃO	00
	DATA	06/04/2015
	DOCUMENTO Nº	FO.RDT.XXX

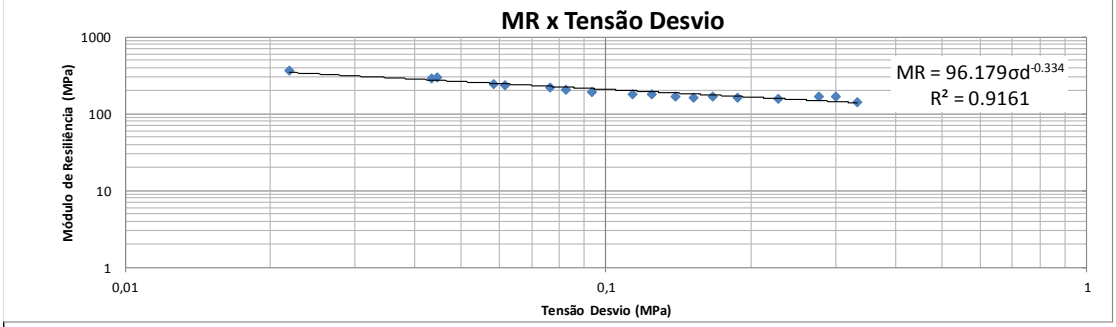
REGISTRO Nº	FURO	TRECHO	Km	CAMADA	MATERIAL	PROF.(m)	DATA
98			735+000	1	Argila arenosa marrom amarelado	0,00 - 4,00	20/05/2016

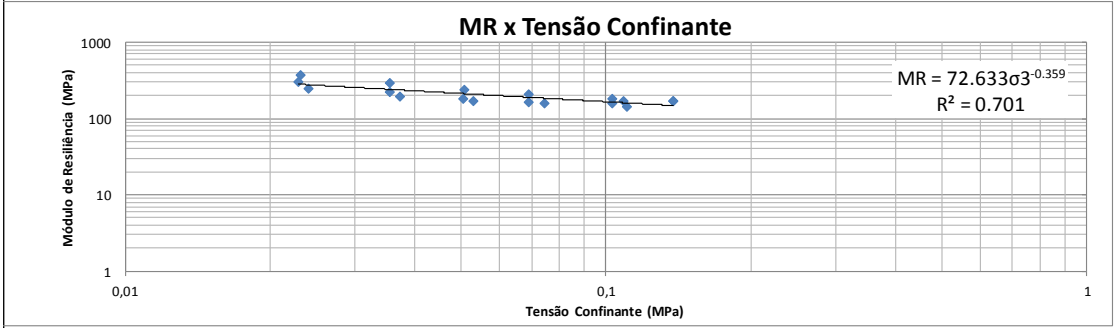
DADOS DA AMOSTRA

Índices Físicos		Granulometria (% passando)										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº16	Nº30	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
LL (%)	34	100	100	100	100	99,9	99,3	97,9	93,5	89,7		62,6	51,7
IP	12	Compactação e CBR								Características do Corpo de Prova			
IG	4	Úmidade ótima (%)		Dens. Máx seca(g/cm³)		CBR (%)		Expansão (%)		Energia	Dimensão	Nº camadas	Golpes
HRB	A-6	19,1		1,65		34		0,15		Normal	10x20	4	-

Tensões de condicionamento	
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)
0,0689	0,0689
0,0689	0,2068
0,1029	0,3090

Tensões de referência (DNIT 134/2010)		Tensões do Ensaio (Média das 15 repetições por sequência)					
σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	σ3 (Mpa)	σd (Mpa)	% diferença σ3	% desvio σd	ε_r (mm)	MR (Mpa)
0,0207	0,0207	0,02311	0,02191	11,64%	5,83%	5,92E-05	370,156
	0,0414	0,02285	0,04460	10,40%	7,72%	1,49E-04	298,475
	0,0621	0,02411	0,05849	16,49%	5,81%	2,40E-04	248,656
0,0345	0,0345	0,03555	0,04346	3,05%	25,98%	1,55E-04	292,096
	0,0689	0,03543	0,07652	2,70%	11,05%	3,47E-04	223,941
	0,1029	0,03718	0,09335	7,78%	9,28%	4,90E-04	197,405
0,0504	0,0504	0,05063	0,06150	0,45%	22,02%	2,70E-04	240,103
	0,1029	0,05049	0,11381	0,17%	10,60%	6,23E-04	184,129
	0,1552	0,05301	0,13960	5,18%	10,05%	8,49E-04	170,916
0,068	0,0689	0,06889	0,08274	1,31%	20,08%	4,14E-04	208,533
	0,1379	0,06891	0,15226	1,34%	10,41%	9,24E-04	164,794
	0,2068	0,07459	0,18767	9,69%	9,25%	1,19E-03	161,454
0,1029	0,1029	0,10289	0,12478	0,01%	21,26%	7,06E-04	180,112
	0,2068	0,10290	0,22806	0,00%	10,28%	1,41E-03	161,169
	0,309	0,10883	0,27759	5,77%	10,16%	1,66E-03	168,040
0,1379	0,1379	0,13788	0,16652	0,02%	20,76%	9,90E-04	168,552
	0,2747	0,13789	0,30110	0,01%	9,61%	1,79E-03	167,619
	0,412	0,11033	0,33294	24,99%	19,19%	1,88E-03	141,661





Observação:

6. REFERÊNCIAS

DNIT 134/2010 – ME - *Solos – Determinação do módulo de resiliência* –Método de Ensaio. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), 2010.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – ENSAIO DE PERMEABILIDADE À CARGA CONSTANTE

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação da permeabilidade à carga constante, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Permeâmetro (do tipo I ou tipo II, conforme definido na norma ABNT NBR 12292/1995);
- Reservatório com filtro;
- Funil;
- Equipamento para compactação (no caso de moldagem de corpos de prova com compacidade relativa próxima de 100%);
- Tubos manométricos;
- Balança de precisão;
- Barra de calibração;
- Itens diversos (peneiras, termômetro, concha metálica, cronômetro, proveta de vidro, repartidor de amostras, bandejas metálicas, paquímetro, etc).

3. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

- Antes do ensaio de permeabilidade, realizar análise granulométrica e massa específica dos grãos do solo;
- A amostra deve ser seca ao ar e conter porcentagem inferior a 10% de material passante na peneira N° 200. Além disso, deve-se retirar grãos maiores que 19,0 mm.

4. PREPARAÇÃO DO CORPO-DE-PROVA

- Medir e registrar em quatro posições, o diâmetro interno do permeâmetro (D) e a distância entre os centros das aberturas (L). Calcular a área da seção transversal do permeâmetro utilizando a média das medidas de D.



- Realizar a colocação do material com o auxílio do funil;



- Nivelar o topo com auxílio de régua metálica;



- Utilizando o paquímetro, medir e anotar a profundidade entre a face superior da barra de calibração e o topo do disco perfurado ou tela superior. As medições devem ser efetuadas em quatro posições simetricamente espaçadas e anotar também a média das medidas.

- Conectar a mangueira do reservatório de água na válvula da base e conectar as mangueiras dos tubos manométricos;



- Com a válvula da base e do topo aberta e as válvulas dos tubos manométricos fechados, inicia-se a saturação da base para o topo.

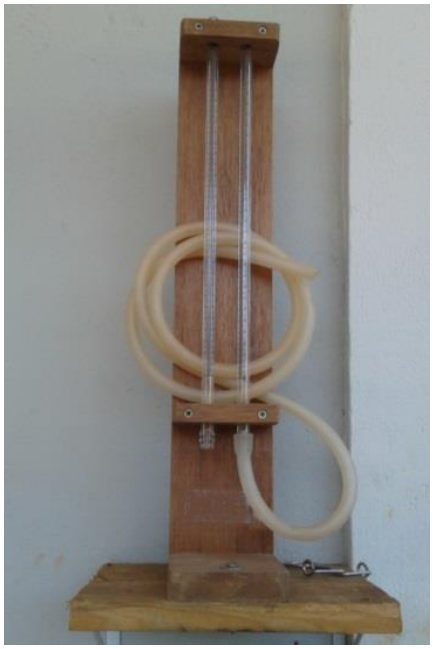


- A medida que a água percola o material no sentindo ascendente, ocorre eliminação do ar contido nos vazios e saturação do corpo de prova.



5. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Fechar a válvula de base e conectar a mangueira do reservatório na válvula localizada no topo do permeâmetro. Abrir a válvula da base bem como as válvulas dos tubos manométricos.
- Com todas as válvulas abertas, aguardar que as cargas nos tubos manométricos se estabilizem. Medir e registrar a carga H (diferença nos níveis dos tubos manométricos), a temperatura da água no reservatório T.



- Por meio de uma proveta graduada, medir o volume de água percolada pela saída inferior do permeâmetro, Q. O tempo correspondente à coleta de água deve ser marcado por meio de um cronômetro, t.
- O gradiente hidráulico deve ser gradualmente variado, para verificação da região de fluxo laminar.

6. RESULTADOS

- O coeficiente de permeabilidade k pode ser obtido pela seguinte linha de raciocíno:
    - Pela Lei de Darcy, tem-se que:

$$v = ki \rightarrow k = v/i$$

Onde,

v = velocidade do fluxo

i = H/L (gradiente hidráulico, correspondente à razão entre a perda de carga H, sobre o caminha de percolação L).

k = coeficiente de permeabilidade

- Pela equação da continuidade de fluxo, $Q = v\mathrm{A}$, temos que:

$v = Q/\mathrm{A}$

Onde,

Q = V/t (razão entre volume coletado e tempo de coleta);

A = área da seção transversal do corpo de prova.

Portanto, o coeficiente de permeabilidade k pode ser obtido pela seguinte relação:

$$\boldsymbol{k = \frac{VL}{AHt}}$$

- De forma alternativa, o coeficiente de permeabilidade pode ser definido por metodologia gráfica, conforme desenvolvido na norma ABNT NBR 13292/1995.
  - Utilizando o plano cartesiano, marcando em ordenadas $V_{20°C}$ e em abcissas o gradiente hidráulico (i=h/L). Traçar uma reta, passando pela origem, onde melhor se ajuste aos pontos correspondentes ao regime laminar.
  - Determinar o coeficiente angular desta reta, que corresponde ao coeficiente de permeabilidade, $k_{20°C}$.
- Na observância de temperaturas diferentes de 20 °C, procede-se a correção da viscosidade da água. A tabela da norma ABNT NBR 13292/1995 deve ser utilizada para essa finalidade.

Temperatura	$V_T/V_{20°C}$									
(°C)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
8	1,374	1,370	1,366	1,362	1,358	1,354	1,352	1,348	1,344	1,340
9	1,336	1,332	1,328	1,325	1,321	1,318	1,314	1,310	1,306	1,302
10	1,298	1,294	1,292	1,288	1,284	1,281	1,277	1,273	1,269	1,266
11	1,262	1,259	1,256	1,252	1,249	1,245	1,241	1,238	1,234	1,231
12	1,227	1,224	1,221	1,218	1,215	1,211	1,208	1,205	1,202	1,198
13	1,195	1,192	1,189	1,186	1,183	1,180	1,177	1,174	1,170	1,167
14	1,165	1,162	1,159	1,156	1,153	1,150	1,147	1,144	1,141	1,138
15	1,135	1,132	1,129	1,126	1,123	1,121	1,118	1,115	1,112	1,109
16	1,106	1,103	1,100	1,098	1,095	1,092	1,089	1,086	1,084	1,081
17	1,078	1,075	1,073	1,070	1,067	1,064	1,062	1,059	1,056	1,054
18	1,051	1,048	1,046	1,043	1,041	1,038	1,035	1,033	1,030	1,028
19	1,025	1,023	1,020	1,018	1,015	1,013	1,010	1,008	1,005	1,003
20	1,000	0,998	0,995	0,993	0,991	0,989	0,986	0,984	0,982	0,979
21	0,975	0,973	0,971	0,968	0,966	0,964	0,961	0,959	0,957	0,954
22	0,952	0,950	0,948	0,945	0,943	0,941	0,939	0,937	0,934	0,932
23	0,930	0,928	0,926	0,923	0,921	0,919	0,917	0,915	0,912	0,910
24	0,908	0,906	0,904	0,902	0,900	0,898	0,895	0,893	0,891	0,889
25	0,887	0,885	0,883	0,881	0,879	0,877	0,875	0,873	0,871	0,869
26	0,867	0,865	0,863	0,861	0,859	0,857	0,855	0,853	0,851	0,849
27	0,847	0,845	0,843	0,841	0,839	0,838	0,836	0,834	0,832	0,830
28	0,828	0,826	0,825	0,823	0,821	0,820	0,818	0,816	0,814	0,813
29	0,811	0,809	0,807	0,806	0,804	0,802	0,800	0,798	0,797	0,795
30	0,793	0,791	0,789	0,788	0,786	0,784	0,782	0,780	0,779	0,777
31	0,776	0,775	0,773	0,772	0,770	0,768	0,767	0,765	0,763	0,762

7. REFERÊNCIA

ABNT NBR 13292. *Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante.* Associação Brasileira de Normas Técnicas.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE SOLOS GRANULARES À CARGA VARIÁVEL

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação da permeabilidade à carga variável, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Equipamento para compactação do corpo de prova;
- Extrator de amostra;
- Equipamento para talhagem;
- Paquímetro;
- Balança de precisão;
- Itens diversos

3. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

- Deve-se realizar o peneiramento, utilizando as peneiras ¾ (19,0 mm) e 4 (4,75 mm), o material que ficar retido na peneira ¾ será descartado devido seu diâmetro ser considerado muito grosso para o ensaio, o material que ficar retido entre as peneiras ¾" e N°4 será aproveitado no ensaio, este material é considerado médio e o material passante pela peneira 4 também será aproveitado, sendo este considerado fino.

4. PREPARAÇÃO DO CORPO-DE-PROVA

- Para realizar a compactação do Corpo de Prova, deve-se realizar a correção de umidade (moldar na umidade ótima);
- Depois de realizado o peneiramento e feito a correção de umidade, compacta-se o corpo de prova no molde, a forma de compactação do CP deverá ser feita conforme tabela abaixo:

Cilindro	Característica inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
grande	Soquete	grande	grande	grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

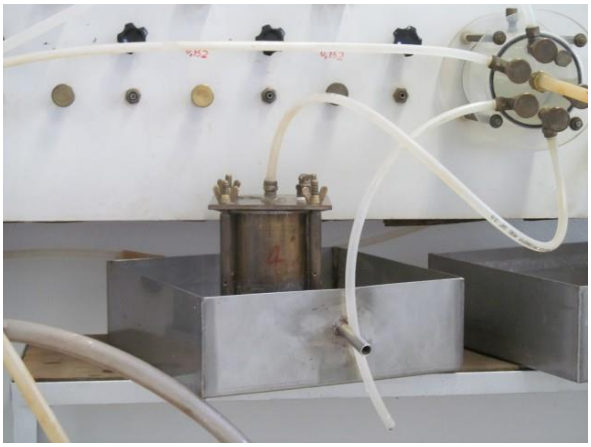
5. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Realizar a preparação da base do permeâmetro, colocando a pedra porosa na base, sobre a pedra coloca-se uma tela de arame de abertura 2,0 mm, sobre a tela colocar um anel de borracha;
- Colocar o Corpo de Prova no permeâmetro, e em torno dele deve-se inserir a argila plástica em camadas de 2 cm de altura, compactando cada camada;



- Colocar um anel de borracha sobre o topo, inserir a tela de arame. Colocar sobre a tela uma camada de Brita 0, pois na tampa do aparelho, contém outra pedra porosa, a camada de Brita 0 evita que esta pedra caia sobre a tela;

- Encher a bureta graduada com água, conectar a mangueira da bureta com a válvula da base do permeâmetro, abrir a válvula no topo do aparelho para ser realizado a saturação;



- Após realizada a saturação, fechar a válvula do topo, desconectar a mangueira que estava ligada à base do permeâmetro, e conectar a mesma na válvula do topo para realização do ensaio. Vale lembrar que é necessário realizar a medida da temperatura desta água;

- Medir e anotar o valor da altura entre a válvula do topo do equipamento e o topo da bureta;
- Obter pelo menos quatro determinações do coeficiente de permeabilidade;

6. RESULTADOS

- Calcular a massa seca do Corpo de Prova, pela expressão:

$$Ms = \left(\frac{M}{100 + w}\right) x100$$

Ms – Massa seca do corpo de prova, em g;

M – Massa do corpo de prova, em g;

w – Teor de umidade inicial, em %.

- Calcular a massa específica aparente seca inicial do Corpo de Prova, pelas expressões abaixo:

$$\rho d = \frac{Ms}{Vi}$$

$$ei = \left(\frac{\rho s}{\rho d}\right) - 1$$

$$Sr = \frac{\rho s \ x \ w}{\rho w \ x \ ei}$$

ρd – Massa específica aparente seca inicial do Corpo de Prova, em g/cm³;

Vi – Volume inicial do Corpo de Prova determinado a partir de suas dimensões iniciais, em cm³;

ei – Índice de vazios inicial do Corpo de Prova;

ρs – Massa específica dos grãos, em g/cm³;

Sr – Grau de saturação inicial do Corpo de Prova, em %;

ρw – Massa específica da água, tomada igual a 1 g/cm³.

- Calcular os coeficientes de permeabilidade (k), de acordo com a expressão:

$$k = \frac{aH}{\mathrm{A}\Delta\mathrm{t}}\ x\ \ln\left(\frac{h1}{\mathrm{h2}}\right)$$

k – Coeficiente de permeabilidade, expresso em forma exponencial (base 10), com dois algarismos significativos, em cm/s;
$\Delta\mathrm{t}$ – Dado pela difenrenca entre os intantes T2 e T1, em segundos;
$h1$ – Carga hidráulica no instante T1, em cm;
$\mathrm{h2}$ - Carga hidráulica no instante T2, em cm;
a – Area interna da bureta, cm cm²;
H – Altura inicial do Corpo de Prova, em cm;
A – Area inicial do Corpo de Prova, em cm².

- Referir os coeficientes de permeabilidade calculado acima à temperatura de 20ºC, por intermédio da seguinte expressão:

$$\mathrm{K}_{20} = \mathrm{Rt}\ xk$$

K_{20} - Coeficiente de permeabilidade à temperatura de 20ºC, em cm/s;
Rt – Relação entre a viscosidade da água na temperatura de ensaio e a visidade da água a 20ºC, obtida na tabela 1. Utilizar a média das temperaturas medidas no intervalo $\Delta\mathrm{t}$.

- Calcular o volume de água percolado desde o inicio do ensaio em relação ao volume de vazios do Corpo de Prova, como mostra a expressão abaixo:

$$Vv = \mathrm{V\ x}\ \frac{\mathrm{e}}{1+\mathrm{e}}$$

Vv – Volume de vazios do Corpo de Prova, em cm³
V – é igual a Vi;
e – Índice de vazios inicial após o adensamento.

Tabela 1 - Relação entre a viscosidade da água na temperatura de ensaio e a viscosidade da água a 20°C (R_T)

Temperatura	R_T									
°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
8	1,374	1,370	1,366	1,362	1,358	1,354	1,352	1,348	1,344	1,340
9	1,336	1,332	1,328	1,325	1,321	1,318	1,314	1,310	1,306	1,302
10	1,298	1,294	1,292	1,288	1,284	1,281	1,277	1,273	1,269	1,266
11	1,262	1,259	1,256	1,252	1,249	1,245	1,241	1,238	1,234	1,231
12	1,227	1,224	1,221	1,218	1,215	1,211	1,208	1,205	1,202	1,198
13	1,195	1,192	1,189	1,186	1,183	1,180	1,177	1,174	1,170	1,167
14	1,165	1,162	1,159	1,156	1,153	1,150	1,147	1,144	1,141	1,138
15	1,135	1,132	1,129	1,126	1,123	1,121	1,118	1,115	1,112	1,109
16	1,106	1,103	1,100	1,098	1,095	1,092	1,089	1,086	1,084	1,081
17	1,078	1,075	1,073	1,070	1,067	1,064	1,062	1,059	1,056	1,054
18	1,051	1,048	1,046	1,043	1,041	1,038	1,035	1,033	1,030	1,028
19	1,025	1,023	1,020	1,018	1,015	1,013	1,010	1,008	1,005	1,003
20	1,000	0,998	0,995	0,993	0,991	0,989	0,986	0,984	0,982	0,979
21	0,975	0,973	0,971	0,968	0,966	0,964	0,961	0,959	0,957	0,954
22	0,952	0,950	0,948	0,945	0,943	0,941	0,939	0,937	0,934	0,932
23	0,930	0,928	0,926	0,923	0,921	0,919	0,917	0,915	0,912	0,910
24	0,908	0,906	0,904	0,902	0,900	0,898	0,895	0,893	0,891	0,889
25	0,887	0,885	0,883	0,881	0,879	0,877	0,875	0,873	0,871	0,869
26	0,867	0,865	0,863	0,861	0,859	0,857	0,855	0,853	0,851	0,849
27	0,847	0,845	0,843	0,841	0,839	0,838	0,836	0,834	0,832	0,830
28	0,828	0,826	0,825	0,823	0,821	0,820	0,818	0,816	0,814	0,813
29	0,811	0,809	0,807	0,806	0,804	0,802	0,800	0,798	0,797	0,795
30	0,793	0,791	0,789	0,788	0,786	0,784	0,782	0,780	0,779	0,777
31	0,776	0,775	0,773	0,772	0,770	0,768	0,767	0,765	0,763	0,762

7. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 14545. *Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável.* Associação Brasileira de Normas Técnicas.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO - PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para preparação de amostras de solo, bem como a aparelhagem necessária.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Carrinho de mão;
- Pá;
- Almofariz e mão de gral recoberta de borracha;
- Peneiras 3” (76,2 mm), ¾” (19,1 mm) e n° 4 (4,8 mm);
- Balança de precisão;

3. IDENTIFICAÇÃO DE AMOSTRAS

- Realizar preliminarmente a identificação e registro das amostras entregues no Laboratório;
- As amostras devem ser ensacadas e identificadas com etiqueta em papel apropriado.

4. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

- Realizar o espalhamento da amostra no pátio de secagem.



Nota: É importante que o local de secagem seja aberto, pavimentado e livre de contaminantes;

- A secagem do material deve durar tempo necessário para sua umidade se aproxime à umidade ambiente. Realizar a secagem até o momento em que o teor de umidade da amostra seja aproximadamente igual a umidade ótima menos 5% (estimado);



- Desagregar completamente os torrões, com o auxílio de almofariz e mão de gral recoberta de borracha. É importante que a desagregação seja realizada de tal forma que não haja a redução do tamanho natural das partículas individuais do solo;



- O material destorroado deve ser passado nas peneiras 3” (76,2 mm), ¾” (19,1 mm) e n° 4 (4,8 mm);

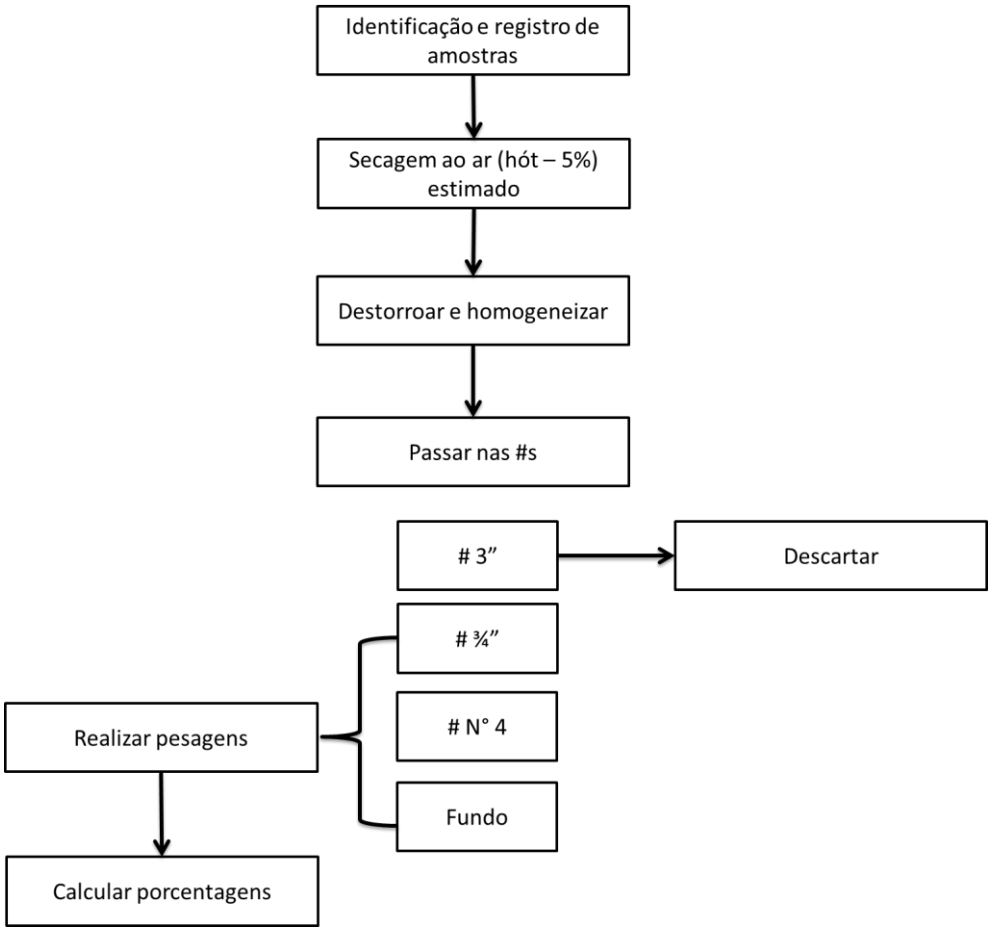


- Realizar a pesagem do material retido na peneira ¾” e do material retido e passado na peneira n° 4, com sensibilidade de 5g;



- Descartar o material retido na peneira 3";

5. ORGANOGRAMA



6. REFERÊNCIAS

DNER-ME 041/94. *Solo – preparação de amostras para ensaios de caracterização.* MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA E DA MASSA ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA EM MISTURAS ASFÁLTICAS NÃO COMPACTADAS

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica de misturas asfálticas não compactadas, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Bandeja metálica;
- Frasco de metal resistente à pressão de vácuo;
- Balões volumétricos;
- Balança sensível a 0,1g;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105 e 110ºC;
- Bomba de vácuo;
- Manômetro capaz de medir o vácuo conectado diretamente à bomba;
- Agitador mecânico;
- Água potável;
- Placa de vidro;
- Luva.

3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

3.1. Preparação da amostra

- Deve-se colocar a amostra em uma bacia e colocar na estufa a temperatura de 110ºC ± 5ºC;



- A quantidade de amostra a ser utilizada deverá ser conforme a tabela abaixo:

Dimensão máxima do agregado mm	Massa mínima de amostra g
38,1 ou maior	5000
19,1 a 25,4	2500
12,7	1500

3.2. Determinação da massa do recipiente com água

- Encher completamente o frasco metálico com água. O enchimento adequado é garantido utilizando-se uma placa de vidro no topo do recipiente, de forma que não apareça nenhuma bolha de ar na superfície. Pesar o conjunto e anotar o valor obtido (P_1);



3.3. Ensaio

- Após a amostra estar completamente desagregada, retirar a mesma da estufa com a utilização de luvas, e coloca-la a temperatura ambiente para resfriar.



- A amostra deve ter suas partículas separadas ainda quentes, com o auxílio de uma espátula, evitando a quebra dos grãos.



- Após resfriada, pesar a amostra (P_2);



- Retirar a placa de vidro e acrescentar a amostra no picnomêtro. Travar a tampa do mesmo.



- Realizar a ligação das mangueiras nos respectivos balões volumétricos, na bomba a vácuo e no manômetro;



- Após todas as mangueiras estarem devidamente conectadas com seus respectivos aparelhos, liga-se a placa vibratória e a bomba a vácuo por um período de 15 minutos. Lembrando que devemos abrir a válvula de pressão do picnômetro;

- Após o período determinado conforme item anterior, retirar a tampa do equipamento, encher o recipiente com água pesar o conjunto (P_{real}).



4. RESULTADOS

- A densidade máxima teórica da amostra é calculada pela fórmula abaixo:

$$\mathrm{Dmt} = \frac{M_{amostra}}{M_{amostra} + M_{Pic+água} - M_{pic+água+amostra\,(após\ vácuo)}}$$

- A massa específica máxima teórica da amostra é calculada pela fórmula abaixo:

$$M_{mt} = 0{,}9971\ x\ Densidade\ máxima\ teórica$$

Onde:

M_{mt} - Massa específica máxima teórica

0,9971 - fator de correção (considerando temperatura da água de 25 °C).

5. EXEMPLO

Considerando os valores hipotéticos apresentados abaixo, procede-se o cálculo para obtenção da massa específica máxima de misturas asfálticas não compactadas.

$M_{amostra}$ = 1500,0 g

$M_{Pic+água}$ = 8750,0 g

$M_{pic+água+amostra\,(após\ vácuo)}$ = 9650,0 g

$$Dens. = \frac{1500}{1500 + 8750 - 9650}$$

$$\underline{\boldsymbol{Dt = 2{,}50\ g/cm^3}}$$

$$\boldsymbol{M_{mt}} = 0{,}9971\ x\ 2{,}50$$

$$\boldsymbol{M_{mt}} = 2{,}493\ g/cm^3$$

6. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15619 (2012). *Misturas asfálticas- Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas.* Associação Brasileira de Normas Técnicas.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

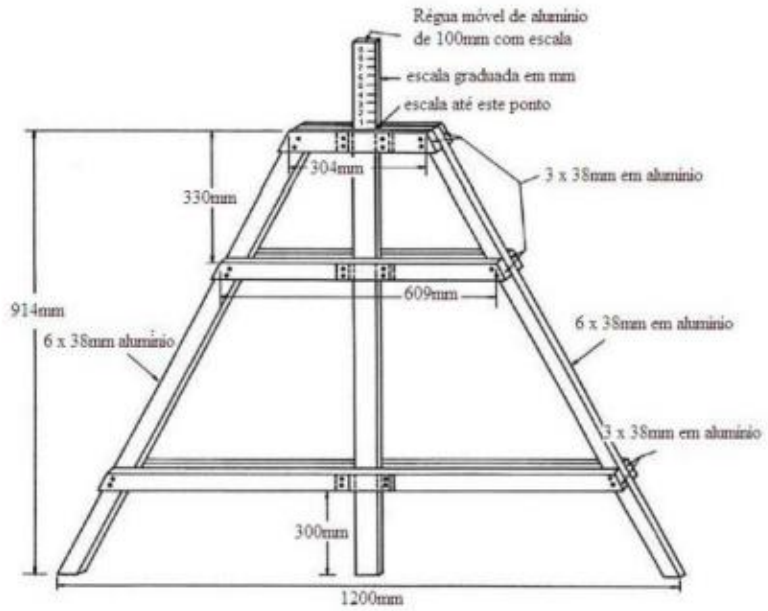
INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – TRELIÇA METÁLICA

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a medição de afundamento de trilha de roda do pavimento, bem como a aparelhagem necessária e a obtenção dos resultados.

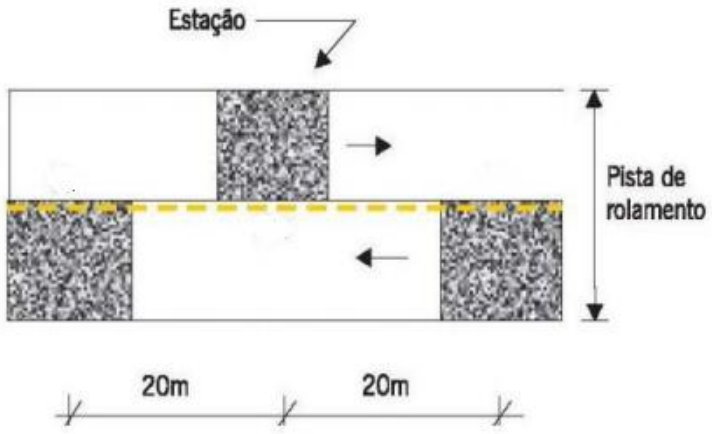
2. INSTRUMENTAÇÃO

- Treliça de alumínio com 1,2m de comprimento da base, com uma régua móvel instalada em seu ponto médio que é utilizada para medir as flechas da trilha da roda em milímetros.



3. LOCALIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE AVALIAÇÃO

- Executar os ensaios conforme esquema a seguir ou com espaçamento reduzido, de acordo com necessidade específica.



4. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Posicionar a treliça metálica na trilha de roda interna (TRI) e executar a leitura em milímetros;



- Executar os mesmos procedimentos na Trilha de Roda Externa.

5. EXEMPLO

PISTA:				
Data	**Km**	**Bordo**	**Sentido**	**Leitura**
17/02/2016	UA 03	Direito	Sul	12 mm
18/02/2016	UA 03	Esquerdo	Norte	12 mm
19/02/2016	UA 03 -20m	Esquerdo	Norte	11 mm
20/02/2016	UA 03 -20m	Direito	Norte	9 mm
21/02/2016	UA 03 -40m	Esquerdo	Norte	9 mm
22/02/2016	UA 03 -40m	Direito	Norte	10 mm
23/02/2016	UA 03 +20m	Direito	Sul	9 mm
24/02/2016	UA 03 +20m	Esquerdo	Sul	11 mm
25/02/2016	UA 03 +40m	Direito	Sul	10 mm
26/02/2016	UA 03 +40m	Esquerdo	Sul	10 mm

6. REFERÊNCIAS

Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros. Leidi Bariani Bernucci [et al.]. Rio de Janeiro, 2008.

LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO E SOLOS

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO – DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES PELA VIGA BENKELMAN

1. OBJETIVO

Apresentar o procedimento para a determinação de deflexões em pavimento rodoviário com aplicação da Viga Benkelman, bem como a aparelhagem necessária e os cálculos para a obtenção dos resultados.

2. INSTRUMENTAÇÃO

- Viga Benkelman;
- Caminhão com 8,2 tf de carga no eixo traseiro;
- Calibrador;

3. LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS

- Os pontos onde serão realizadas as leituras de deflexões devem ter uma distância predefinida da borda do revestimento, de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 1 – Localização dos pontos

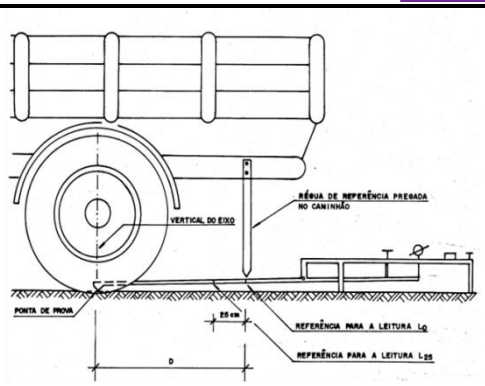
Largura da faixa de tráfego (m)	Distância da borda do revestimento (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50 ou mais	0,90

- As leituras devem ser realizadas nos dois bordos da pista.

4. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

- Utilizar um caminhão com carga de 8,2 tf distribuído simetricamente entre os eixos;
- Centralizar sobre o ponto na trilha externa selecionada, um dos conjuntos de rodas duplas traseiras do caminhão;
- Logo após, posicionar a ponta da Viga Benkelman entre os pneus do caminhão coincidindo com o ponto selecionado de acordo com a imagem abaixo;





- Ajustar o pé traseiro da Viga Benkelman, de modo que o extensômetro fique a meio curso;
- Ligar o vibrador;
- Realizar a primeira leitura (Lo) quando o extensômetro indicar movimento igual ou menos que 0,01 mm/mim ou passado 3 minutos de ligação do vibrador;
- Deslocar o caminhão lentamente para frente até uma distância de 20 metros (Lf), realizando leituras para os seguintes deslocamentos em cm: 0, 20, 45, 60, 90, 120 ,1000 e 2000;



- Desligar o vibrador;
- Travar a parte móvel da viga.

5. RESULTADOS

- A deflexão em cada bordo é calculada por meio da fórmula:

$$Do = (Lo - Lf) * K$$

Onde:

Do = Deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetros;

Lo = Leitura inicial, em centésimos de milímetros;
Lf = Leitura final em centésimos de milímetros;
K = Constante da Viga Benkelman.

- A deflexão média daquele seguimento é obtida através da seguinte fórmula:

$$\text{Dof} = \frac{\text{Do (bordo direito)} + \text{Do (bordo esquerdo)}}{2}$$

6. REFERÊNCIAS

DNER-ME 024/94. *Pavimento – determinação das deflexões pela viga Benkelman.* MT-Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil.