PLANO DE TRABALHO

Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT

Capítulo XX do Edital 02, Lote 06, item 10 do PER

Rodovia BR 116 – Trecho São Paulo - Curitiba

PROJETO 05 - SGP/ARB_05

ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE RESILIÊNCIA E O CBR DE SOLOS COMO PARÂMETRO DE PROJETO DE PAVIMENTOS

Autopista Régis Bittencourt
arteris

RELATÓRIO FINAL

Março - 2016

SUMÁRIO

1. CONCESSIONÁRIA 4

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO 4
2.1. TÍTULO DO PROJETO 4
2.2. OBJETIVOS 4
2.2.1. Objetivo Geral 4
2.2.2. Metas e Objetivos Específicos 5

3. JUSTIFICATIVA 5

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO 8
4.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS 10
4.2. ATIVIDADES 10

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 10
5.1. CBR 10
5.2. Módulo de Resiliência 13
5.3. Correlações entre o Módulo de Resiliência e outros índices e propriedades 15
5.4. Obtenção de Módulo de Resiliência por retroanálise de bacias de deflexão 17

6. SELEÇÃO DOS LOCAIS E MODO DE AMOSTRAGEM 19
6.1. Procedimento proposto para seleção dos pontos de análise – Autopista Régis Bittencourt (BR-116) 19
6.2. Procedimento para Abertura de Poços de Inspeção (PI) no Pavimento Existente e Coleta de Amostras para Ensaios de Laboratório – Autopista Régis Bittencourt (BR116) 22

7. PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL 29
TRÁFEGO PESADO (Hr e Hb entre 15 e 20cm) 29

8. RESULTADOS EM TODOS OS POÇOS PESQUISADOS 32
8.1. Poço de Inspeção do km 402 (Pista Norte) 32
8.2. Poço de Inspeção do km 405 (Pista Norte) 45
8.3. Poço de inspeção do km 414 (Pista Sul) 56
8.4. Poço de inspeção do km 418 (Pista Norte) 67
8.5. Poço de inspeção do km 423 (Pista Norte) 79
8.6. Poço de inspeção do km 429 (Pista Norte) 91
8.7. Poço de inspeção do km 431 (Pista Norte) 103
8.8. Poço de inspeção do km 434 (Pista Norte) 115
8.9. Poço de inspeção do km 456 (Pista Norte) 127
8.10. Poço de inspeção do km 460 (Pista Norte) 139
8.11. Poço de inspeção do km 482 (Pista Sul) 150
8.12. Poço de inspeção do km 492 (Pista Sul) 162

9. RESUMO DOS ENSAIOS 172
9.1. Correlações para solos de graduação grossa 181
9.2. Correlações para os solos finos 183

10. CONCLUSÕES 184

11. ENTIDADE OU EQUIPE EXECUTORA.....185

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 186

13. ANEXO – RESULTADOS DE SONDAGENS E ENSAIOS 190

1. CONCESSIONÁRIA

Autopista Régis Bittencourt

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1. TÍTULO DO PROJETO

ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE RESILIÊNCIA E O CBR DE SOLOS COMO PARÂMETRO DE PROJETO DE PAVIMENTOS

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. Objetivo Geral

O principal objetivo desta pesquisa é verificar se há correlação entre o módulo de resiliência e o Índice de Suporte California de solos de subleito encontrados ao longo da Autopista Régis Bittencourt, de maneira a calibrar as equações que vem sendo frequentemente utilizadas em projetos de dimensionamento que empregam correlações existentes para solos não tropicais. A Autopista Régis Bittencourt está localizada em uma região de importante variabilidade de ocorrências de solos em sua extensão superior a 400 quilômetros, onde há uma elevada variação na disponibilidade de materiais e capacidade de suporte do subleito. Para o projeto de dimensionamento de pavimentos novos, terceiras faixas e projetos de reforço estruturais faz necessário o melhor conhecimento do comportamento resiliente dos solos do subleito e dos solos de empréstimo para os reforços do subleito. Objetiva-se comparar os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais realizados com amostras extraídas de pista com valores de resiliência obtidos a partir de retroanálises de bacias deflectométricas, permitindo que o comportamento dos materiais amostrados possa ser extrapolado para outros segmentos a partir da caracterização dos solos em laboratório.

Objetiva-se também o tratamento estatístico dos dados relativos aos levantamentos deflectométricos possibilitando a utilização destas leituras de modo assertivo na elaboração de projetos de restauração de pavimentos, a partir de retroanálises calibradas em relação aos módulos de resiliência efetivos (da camada em campo, em sua condição de estado e umidade), aos módulos estimados e aos módulos ensaiados em laboratório.

2.2.2. Metas e Objetivos Específicos

Nesta pesquisa têm-se como metas e objetivos específicos para atingir o objetivo final:

- Extrair material das camadas de subleito em diferentes pontos que possam prover uma gama ampla de tipos de solos ao longo a Autopista Régis Bittencourt;
- Caracterizar os solos coletados sob a ótica de diferentes classificações que possam ser adotadas de modo simplificado para posterior categorização ou hierarquização em campo;
- Determinar o comportamento mecânico dos solos coletados por meio de ensaios de módulo de resiliência e de CBR em laboratório;
- Realizar levantamento de deflexões nos pontos de coleta das amostras;
- Determinar os módulos de resiliência efetivos ou equivalentes das camadas que compõem a estrutura de pavimento por meio de retroanálise de bacias deflectométricas em diferentes levantamentos realizados;
- Comparar os resultados dos ensaios e levantamentos definindo correlações entre os parâmetros avaliados.

3. JUSTIFICATIVA

Os métodos de projetos de estruturas de pavimentos são alvos constantes de alterações que visam aumentar a confiabilidade nesta etapa para propor pavimentos duráveis, otimizando custos de execução e de manutenção ao longo da vida útil das estruturas. Neste sentido, a identificação correta das características dos materiais que serão utilizados é um dado de entrada fundamental nos projetos.

Os Estados Unidos desenvolveram nos últimos anos um novo modelo de projeto de pavimentos com uma abordagem empírico-mecanicista nomeado Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide – MEPDG, cuja proposta é a calibração dos dados de entrada para condições locais, conciliando desempenhos verificados, materiais disponíveis e durabilidade requerida para resistir às solicitações de tráfego e do clima.

No Brasil, os métodos de projeto adotados pelos principais órgãos rodoviários se baseiam em modelos puramente empíricos e sugerem verificações mecanicistas a partir de modelos de previsão de desempenho de fontes diversas, sem considerar as condições de contorno que cercaram estas formulações. Assim, são diversos os entraves ao se projetar pavimentos.

Somam-se às dificuldades da adoção de modelos inadequados muitas vezes, os problemas relacionados às dimensões continentais do Brasil, que impõem variáveis importantes nos materiais de cada região. Uma rodovia que corta um único estado pode apresentar variações extremas nas características dos materiais disponíveis, tanto de solos como de agregados. Além das características de natureza e ocorrência dos materiais, o comportamento dos solos utilizados nas camadas de fundação da rodovia está intimamente relacionado às condições de estado, que se alteram pelas condições climáticas da região e pela altura do lençol freático.

Uma das principais características de resistência dos solos no Brasil é o Índice de Suporte California (California Bearing Ratio – CBR), por ser um ensaio relativamente simples de execução, por meio de equipamento amplamente difundido pelo país e de baixo custo. O ensaio foi desenvolvido na década de 1920 com o objetivo de avaliar o potencial de ruptura do subleito dos pavimentos; o resultado expresso em porcentagem é uma função comparativa com a resistência média de materiais granulares de bom desempenho na California, passando a ser chamado de material padrão. Esta referência é computada com CBR de 100%. O valor de CBR é uma resistência ao cisalhamento do solo ou do material granular à penetração de um pistão de dimensões padronizadas. Há materiais tanto com valores de CBR muito baixos, próximos à unidade ou a dois (em porcentagem), quanto com valores superiores ao material de referência. Os resultados de CBR encontram fácil assimilação no meio técnico rodoviário, sendo frequente a definição da qualidade do material apenas por este parâmetro.

Os resultados de CBR de solos destinados a subleito e/ou reforço de subleito são comumente correlacionados ao comportamento resiliente destes solos, transformando valores de CBR em valores de módulo de resiliência por meio da equação que considera o valor de módulo de resiliência (dado em MPa) de um solo como 10 vezes o valor de CBR (este dado em %) (Heukelon & Klomp, 1962, também indicado pelo Guia da AASHTO, 1986 e 1993[1]). Essa relação tem sido sugerida e usada por projetistas, de modo a realizar alguns ensaios de módulo de resiliência em laboratório, e a maior parte de ensaios CBR. A equação proposta por Heukelom e Klomp em 1962 é baseada em trabalho de Heukelom e Foster (1960) onde Edin(MPa)=K x CBR(%), onde o coeficiente K varia de 5 a 20, com valor médio de

[1] MR(psi)=1500 x CBR(%)

11. Na França, como aproximação inicial são utilizadas relações semelhantes para solos com CBR limitados a 10%, empregando o coeficiente K=5 (Marchand et al., 1983). Matthew e Pandey (1990) empregam também relações semelhantes com o coeficiente K entre 7,55 e 16,6, para avaliação do módulo de resiliência de subleitos. No Brasil, há trabalhos que chegaram em outras correlações, como a de Preuslller (1983) onde MR (kgf/cm2)=326+67xCBR (%), e a de Visser et al. (1983) que mostra que o coeficiente K varia entre 0,7 a 106 estudando 75 solos lateriticos.

A correlação de Mr e CBR de Heukelon & Klomp, sugerida no método da American Association State Highway Transportation Officials - AASHTO de 1993, apesar de concebida para solos de ocorrência nos Estados Unidos, é amplamente utilizada no Brasil, embora sabidamente seja de baixa confiabilidade para os solos brasileiros. Os solos tropicais são de comportamento bastante variado e a previsão de comportamento resiliente por meio destas equações é altamente criticada.

A determinação do módulo de resiliência é um importante indicador do comportamento mecânico dos materiais de pavimentação e tem sido negligenciado repetidamente sem que sejam realizados ensaios nos materiais propostos em projetos de estruturas de pavimentos; é frequente a formulação de projetos com incoerências nos valores de módulo de resiliência adotados para diferentes materiais. As respostas deflectométricas de pavimentos flexíveis são bastante dependentes do módulo de resiliência do subleito e a fadiga dos revestimentos asfálticos é altamente dependente da resposta resiliente dos subleitos. Existe atualmente uma vasta gama de tipos de materiais de pavimentação, sendo que as diversas variações implicam necessariamente em diferenças nos comportamentos e parâmetros de cada um, de modo que não é adequado adotar valores modulares similares para solos diferentes, além dos expressivos efeitos de se adotar valores meramente estimados.

Apesar de o ensaio ser mais complexo para a determinação do módulo de resiliência que o simplista ensaio de CBR, é necessário reconhecer sua importância tendo em vista que são as principais características dos materiais na etapa de projeto e que são as características que expressam a realidade de comportamento. Ressalta-se que os materiais de pavimentos trabalham com baixos deslocamentos e que os ensaios de resiliência expressam na realidade as propriedades elásticas dos materiais. O ensaio de CBR envolve deslocamentos elevados e que levam à ruptura por cisalhamento. Além disso, o controle

acerca do comportamento dos materiais executados pode garantir a efetividade do que foi proposto no horizonte de projeto.

Ainda relativa à etapa de projetos de restaurações de pavimentos, observam-se discrepâncias em função do tratamento de dados de levantamentos deflectométricos, utilizados na definição do grau de deterioração de cada camada dos pavimentos avaliados; o ensaio não destrutivo realizado para obtenção da deformabilidade da estrutura fornece dados relacionados ao comportamento efetivo do conjunto de camadas. A qualidade de cada camada é estimada por retroanálise das bacias de deflexões com base em espessuras e módulos também estimados, o que pode resultar em interpretações errôneas acerca da integridade de cada material que constitui a estrutura e consequentemente pode resultar em proposições equivocadas de restaurações. Neste sentido, a calibração de resultados obtidos por retroanálise com os dados obtidos por ensaios de laboratório contribui não apenas para a determinação mais correta das condições estruturais de cada camada, mas também para a definição mais precisa das relações ou correções, a depender do material, que devam ser feitas para campo, se houver à disposição resultados de laboratório. Além disso, podem-se avaliar eventuais perdas de rigidez por não alcançar o grau de compactação de laboratório, dentre outros aspectos.

Neste contexto, o projeto de pesquisa visou analisar os resultados de ensaios de laboratório e de campo de maneira a tecer criticamente a adoção de correlações de propriedades mecânicas de materiais de pavimentação muitas vezes inadequadas, que levam a um reduzido nível de confiança os projetos de pavimentação.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O desenvolvimento desta pesquisa se deu em três etapas essenciais, necessárias para atingir os objetivos propostos:

1. Extração de materiais – foram definidos pontos em diferentes condições, selecionados por meio da análise de deflexões, desenho geométrico (aclives, declives e tangentes), projeto geotécnico (aterro, corte e seção mista), distância relativa a cursos d'água, além de variações relativas à construção, tais como histórico de construção, alargamento e duplicação. Nos pontos selecionados foram realizados inventários com espessura existente de cada camada, configuração estrutural, integridade dos materiais constituintes do pavimento, umidade presente

nas camadas e caracterização dos defeitos do pavimento. Os materiais extraídos de cada camada foram acondicionados separadamente para permitir a análise individual de cada material.

2. Ensaios laboratoriais – os materiais extraídos foram avaliados em laboratório de acordo com as necessidades consideradas com vistas aos parâmetros requeridos em projetos de pavimentos, e com a caracterização exigida para a comparação dos resultados. Os Solos de subleito e de reforço foram submetidos a ensaios de granulometria, índices de consistência, classificação, determinação da curva de compactação, determinação do Índice de Suporte Califórnia e de módulo de resiliência. Os materiais granulares foram igualmente submetidos a ensaios de granulometria, determinação do Índice de Suporte Califórnia e de módulo de resiliência. Os materiais retirados de revestimentos asfálticos foram extraídos na forma de corpos de prova cilíndricos para realização de ensaios de massa específica, resistência à tração por compressão diametral e de módulo de resiliência quando estiveram íntegras as camadas, embora se saiba que as amostras possam apresentar fissuras não visíveis a olho nu, decorrentes da utilização e solicitação pelo tráfego. Estas eventuais fissuras reduzem o módulo de resiliência das misturas asfálticas e devem ser consideradas na análise.
3. Retroanálise de deflexões – os levantamentos deflectométricos realizados com equipamento Falling Weight Deflectometer – FWD foram utilizados em duas etapas, (i) na definição dos pontos de coleta de material e (ii) na retroanálise, que consiste no procedimento para obtenção dos módulos efetivos ou equivalentes das camadas dos materiais que compõem a estrutura analisada. A simulação das estruturas em análise por meio de programas específicos baseados na mecânica dos pavimentos permite a identificação das deflexões sofridas por uma carga definida; alterando-se os parâmetros de comportamento dos materiais (módulo de resiliência e coeficiente de Poisson) que são assumidos na simulação é possível definir os valores necessários para sofrer as deflexões obtidas pelo equipamento FWD, sendo conhecidas as espessuras e características dos materiais constituintes. Foram analisadas a validade de equações que vem sendo utilizadas para prever a vida de fadiga de modo a avaliar se são aplicáveis ou onde estão as restrições.

4.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Os ensaios realizados, cujos resultados foram analisados, estão definidos em especificações da AASHTO, DNIT, ASTM e AFNOR (CEN), e em procedimentos desenvolvidos, tendo em vista a falta de algumas especificações para testes específicos.

4.2. ATIVIDADES

Esta pesquisa foi concebida para ser realizada em etapas, cada qual apresentada em relatórios de acompanhamento durante o projeto. Alguns pontos mais relevantes são destacados nos itens que se seguem e sumarizados os resultados de cada poço de sondagem estudado, bem como as conclusões extraídas deste estudo.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. CBR

O ensaio CBR (California Bearing Ratio), denominado no Brasil de ISC (Índice de Suporte California) foi concebido pelo Eng. Porter, na Califórnia, no final da década de 20, por ocasião de uma pesquisa de campo realizada pela Divisão de Estradas daquele Estado para compreender os mecanismos de ruptura precoce dos pavimentos. Observou-se a maior parte das rupturas se davam por deslocamento lateral, principalmente com origem nos subleitos, que eram de baixa resistência (Porter, 1950).

Uma vez que à época não havia disponibilidade de equipamentos de alta tecnologia eletrônica e mecânica, concebeu-se um ensaio simples e rápido que pudesse mensurar de forma combinada a coesão e o ângulo de atrito na resistência ao cisalhamento dos solos.

A partir destes estudos, buscou-se a relação entre a capacidade de suporte dos materiais, sujeitos a elevados deslocamentos, e o desempenho das estruturas de pavimentos. Estabeleceu-se um ensaio onde o material é colocado (ou compactado) dentro de um cilindro metálico e um pistão penetra o material em deslocamento constante, de maneira a levantar a curva força aplicada X deslocamento (penetração). Foram pré-fixados os valores de força para 0,1 e 0,2 polegadas, pois nestes casos a maior parte dos solos já se plastificou e pode-se considerá-lo rompido para aspectos de comportamento dos materiais, bem como em estruturas de pavimentos. Ou seja, os deslocamentos excessivos são inadmissíveis em pavimentos.

A Divisão da Califórnia estabeleceu que os bons materiais granulares das bases de pavimentos que apresentavam bom desempenho seriam consideradas “padrão”; assim a média dos bons materiais granulares estudados à época tornaram-se referência e apresentam valores de CBR = 100%. A partir de então, todas as curvas obtidas nos ensaios são comparadas com as forças que o material granular padrão apresentava para os deslocamentos de 0,1 e 0,2 polegadas e os resultados são assim dados em porcentagem.

As dimensões e todos os aspectos de procedimento do ensaio em laboratório encontram-se normalizados (ASTM D1883; e no Brasil a ABNT NBR 9895/87; a norma DNER 049/94 para amostras não deformadas, porém o procedimento também é válido para amostras compactadas; DNER-ME 254/97 para o ensaio miniatura concebido pelos professores Nogami&Vilibor). A Figura 1 mostra uma foto de um equipamento de ensaio.

FIGURA 1*: EQUIPAMENTO PARA ENSAIO CBR AUTOMATIZADO*

Como parte fundamental do ensaio, procede-se anteriormente ao ensaio de resistência a imersão total dos corpos-de-prova por 4 dias a fim de registrar a expansão axial do mesmo. Porter (1942) constatou a não correlação da expansão com o CBR, após estudo com mais de 300 amostras de solos. Uma vez que há uma tendência de que solos expansivos apresentam-se com menor capacidade de suporte, porém não há relação direta, achou-se por bem na Califórnia estipular valores máximos admissíveis de expansão para uso do material, seja como camada de pavimento, seja como subleitos. No Brasil, o DNIT adota os limites de:

- 2% de expansão máxima para o subleito;
- 1% de expansão máxima para as camadas de reforço do subleito;

- 0,5% de expansão máxima para as camadas de base e sub-base.
- Dependendo do órgão ou gestor, estes valores são ainda menores.

A partir de estabelecidos ensaios de resistência dos materiais de pavimentação granulares e de solos, procedeu-se a delinear os métodos de dimensionamento de pavimentos. O princípio então destes antigos métodos foi de considerar que a estrutura de pavimento assente sobre uma determinada camada e deve protegê-la da ruptura por deslocamentos excessivos (por cisalhamento). Ou seja, toda a estrutura deve minimizar as tensões no topo do subleito para que este não apresente deslocamentos excessivos por cisalhamento. As camadas de revestimento, base e sub-base devem proteger a camada sobre a qual estão assentes, que é o reforço do subleito; as camadas de revestimento e base devem proteger a sub-base e, finalmente, espessuras mínimas de revestimento são executadas para proteger as bases.

O método brasileiro do DNIT, concebido originalmente em 1966 pelo Prof. Murillo Lopes de Souza, revisto em 1979, e constante do Manual de Pavimentação do DNIT de 2006 é baseado neste tipo de concepção: proteção das camadas para evitar tensões que as levem à ruptura por cisalhamento, envolvendo deslocamentos excessivos.

É importante realçar que estudo realizado com vários solos de classes A-2 a A-7 apresentam variação no ensaio CBR de 5 a 30% (Pinto, 1964). Ou seja, a repetibilidade do ensaio deve ser considerada para os cálculos que empregam este valor no dimensionamento as estruturas de pavimentos, fato em geral negligenciado. Outros estudos mostram que o método de compactação e laboratório influencia os resultados e que os valores de resistência à penetração de campo que podem ser inferiores aos obtidos em laboratório (Vendramini e Pinto, 1974).

5.2. Módulo de Resiliência

O CBR ou índice de suporte não prevê em sua essência e concepção de ensaio a repetição de carga e os efeitos de solicitação nos materiais por cargas transientes, que solicitam os materiais em frações de segundo, com intensidades e frequências variadas. Em geral os deslocamentos nas estruturas de pavimentos são bastante pequenos e muito inferiores a 0,1 ou 0,2 polegadas, como no ensaio concebido por Porter. Além disso, há várias décadas sabe-se que as correlações de desempenho das estruturas de pavimento e o suporte dos materiais são apenas aproximadas (Seed et al., 1955). Ou seja, buscar correlacionar comportamento, e desempenho, com índices como CBR é temeroso, uma vez que os modos de ruptura envolvidos não se relacionam.

Desde o final da década de 30, Hveem compreendeu, pelas observações dos pavimentos na Califórnia, que a fadiga era um dos fenômenos responsáveis pela ruptura dos materiais, principalmente dos revestimentos asfálticos. Esta observação levou-o a buscar medir em campo, já em 1938, as deflexões dos pavimentos, pois compreendeu que estes deslocamentos pequenos levavam a tensões de tração no revestimento que repetidas vezes, e por ser um sólido não ideal e guardar danos, apresentava fadiga. Foi Hveem que denominou os deslocamentos verticais transientes, quando os pavimentos estão sob carga de roda, de DEFLEXÃO (Hveem, 1955).

O módulo de resiliência, também denominado por Hveen como tal, foi concebido para diferenciar os solos e materiais granulares dos materiais típicos como aço, vidro, etc, os quais são caracterizados mecanicamente pelo Módulo de Elasticidade.

O módulo de resiliência de um material, introduzido por Hveem, foi determinado à primeira vez em laboratório em ensaio triaxial por Seed e Fead na década de 50, já empregado carregamento repetido (Seed et al., 1955; Seed et al., 1962).

O módulo de resiliência MR, dado em MPa, é definido como a razão entre uma tensão desvio aplicada (σd em MPa, sendo σd=σ1-σ3, onde σ1 e σ3 são as tensões principais maior e menor) e a deformação resiliente ou recuperável (ε rec), sob um pulso de carregamento cíclico, transiente:

$$MR = \frac{\sigma d}{\varepsilon_{rec}} \qquad [1]$$

O conceito de módulo de resiliência ganhou rapidamente popularidade no meio técnico, devido às evidências que a deflexão (deslocamento resiliente) do pavimento, obtida de equipamentos como a Viga de Benkelman, possuía uma melhor correlação com o desempenho em campo do que os deslocamentos totais permanentes (Seed et al., 1962). Nas últimas décadas, o módulo de resiliência tornou-se um modo de caracterização de materiais de pavimentação (de base, sub-base e subleito) internacionalmente reconhecido.

O módulo de resiliência da maior parte dos materiais granulares é dependente do estado de tensão em que o material está aplicado. Muitos modelos já foram propostos ao longo dos anos para incorporar os efeitos do nível de tensão no valor do módulo de resiliência. O equipamento mais utilizado para a determinação do módulo de resiliência em laboratório é por meio do ensaio triaxial de carregamento repetido, que geralmente requer técnicos bem treinados para a operação do equipamento. O ensaio é em linhas gerais o mesmo proposto por Seed e Fead. A Figura 2 mostra um esquema dos carregamentos e a Figura 3 um arranjo de ensaio em laboratório, triaxial de cargas repetidas.

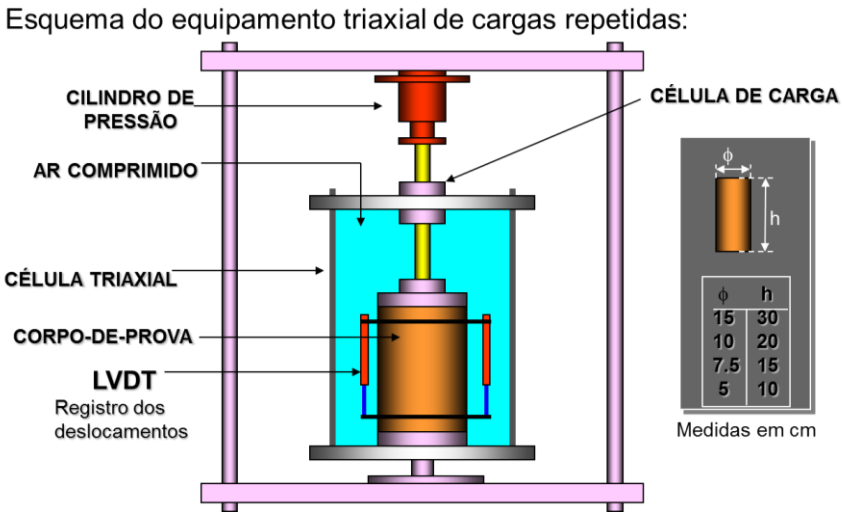


FIGURA 2: *ESQUEMA DE ENSAIO TRIAXIAL DE CARGAS REPETIDAS PARA A DETERMINAÇÃO DOS MÓDULOS DE RESILIÊNCIA*

Exemplo de equipamento triaxial de cargas repetidas:

Figura 3: Arranjo laboratorial de ensaio triaxial de cargas repetidas para a determinação dos módulos de resiliência de solos e materiais granulares

As normas brasileiras para a determinação do módulo de resiliência de solos é a NORMA DNIT 134/2010 – ME. Nos Estados Unidos é muito empregada a ASHTO T 292.

5.3. Correlações entre o Módulo de Resiliência e outros índices e propriedades

Várias correlações empíricas foram desenvolvidas para determinação do módulo de resiliência a partir de outros parâmetros em décadas passadas. Van Til et al. (1972) desenvolveram ábacos para correlação do módulo de resiliência do subleito com resultados de R-value, CBR e valor de classificação triaxial do Texas. A maior limitação dessas correlações recai no fato de que elas falham em refletir a natureza dinâmica do carregamento imposto pelo tráfego, ou por serem baseadas em uma amostragem limitada e só poderem ser aplicadas a condições semelhantes (Mohammad et al., 1995). Entre as conclusões apresentadas por George (2004) encontra-se: “correlações simples com a resistência, por exemplo, o ensaio de CBR para estimar o módulo de resiliência deve ser usado com cautela”.

Equações simples de correlação para prever o MR a partir de ensaios padrões de CBR, R value e propriedades físicas do solo encontram-se disponíveis na literatura. Heukelom e Klomp (1962) apresentaram uma correlação entre o valor de CBR utilizando compactação dinâmica e valores de módulo de resiliência in situ, como ilustrado na equação:

$$MR\ (psi) = 1500\ CBR \qquad [2]$$

Os dados usados para desenvolver esta equação variaram de 750 a 3000 vezes o valor do CBR. A equação [2] já foi extensivamente utilizada em projeto por agencias e pesquisadores para solos finos com CBR imerso de 10% ou menos (George, 2004).

O Departamento de Transportes da Georgia testou alguns solos não coesivos em carregamento Triaxial repetido seguindo o procedimento de ensaio estabelecido pela AASHTO (Webb e Campbell, 1986). O objetivo foi o de criar uma base de dados em que o módulo de resiliência pudesse ser estimado. Uma equação típica para uma areia argilosa era:

$$MR\ (psi) = 3116\ (CBR)^{a} \qquad [3]$$

Onde,

a = 0.4779707

Preussler (1983) que fez parte do grupo da COPPE-UFRJ que introduziu os ensaios de resiliência no Brasil publicou vários valores de módulo dependendo da classificação do solo por um método que a relacionasse com a resiliência, e usou para solos argilosos a seguinte relação:

$$MR = 326 + 67 * CBR \qquad [4]$$

Onde CBR (%) e MR em kgf/cm2.

Visser et al (1983), estudando 75 amostras de subleitos de solos lateríticos brasileiros da região do centro oeste e sudeste, encontraram para as constantes K, da equação MR=K*CBR, variando de 0,7 a 106,0, para valores de CBR em % e MR em MPa. O estudo realizado por Bernucci (1995), com dados próprios e de outros pesquisadores, envolvendo 18 amostras de solos, obteve para solos areno-argilosos lateríticos:

$$MR = 74 * CBR^{0,50} \qquad [5]$$

Onde CBR (%) e MR em MPa.

Apesar de o CBR ser extremamente utilizado na caracterização de solos de subleito, este é uma medida de resistência ao cisalhamento, que não necessariamente é esperado de correlacionar-se com o módulo, ou rigidez do material. Thompson e Robnett (1976) publicaram sobre a baixa correlação existente entre o CBR e o MR dos solos de Illinois. Outro

ponto também relevante é o fato de as relações com o CBR não reconhecerem a dependência do módulo com relação ao estado de tensão do material (Rada e Witczak, 1981).

O problema fundamental com muitas das equações/correlações desenvolvidas para correlacionar MR e outros parâmetros dos solos, como o CBR, é que os testes são considerados empíricos, enquanto o módulo de resiliência é um parâmetro mecanístico que depende de diferentes propriedades do solo, além do estado de tensão em que este se apresenta (em campo, ou no próprio ensaio).

George (2004) desenvolveu uma análise de sensibilidade em várias correlações apresentadas na literatura e verificou que entre os parâmetros/propriedades dos solos, cinco apresentaram maior influência nos resultados de MR: teor de umidade, grau de saturação, material passante na peneira #200, índice de plasticidade e peso especifico aparente.

5.4. Obtenção de Módulo de Resiliência por retroanálise de bacias de deflexão

Os resultados de MR podem também ser obtidos por retroanálise de ensaios não destrutivos de deflexão em campo. Estes, por sua vez, podem apresentar-se de forma inconsistente a depender do programa de retroanálise utilizado para os cálculos. Muitos fatores contribuem para essa variação, como: (i) formulação da teoria de camadas elásticas utilizada pelo programa – se elasticidade linear ou não linear dos materiais granulares e solos; (ii) a premissa de carregamento estático; (iii) valores variáveis e/ou desconhecidos de espessura e rigidez das camadas que compõe o pavimento; (iv) a rigidez relativa entre camadas e (v) condições ambientais (George e Uddin, 2000).

O estudo desenvolvido por Gudishala (2004) teve como objetivo desenvolver modelos que estimassem o módulo de resiliência de materiais de base e solos de subleito através de medidas realizadas in situ. Um dos equipamentos adotados foi o Light Falling Weight Deflectometer (LFWD), que foi originalmente desenvolvido na Alemanha como uma alternativa para realização de ensaios de campo. O equipamento é composto por um artifício de aplicação de carga com pulso definido, um prato de carregamento, além de um geofone no centro do prato. Três pratos de carregamento podem ser utilizados variando o diâmetro (100mm, 200mm ou 300mm), a depender da resistência do solo investigado

(Gudishala, 2004). O teste é realizado deixando que um peso de 10kg caia livremente de certa altura (normalmente 85cm) no prato de carregamento, o que gera um pulso de carga sobre o solo. O sensor (geofone) no centro do prato mede a deflexão sofrida pelo material e passa a informação para um sistema de controle/coleta.

A literatura aponta poucos estudos que tentaram correlacionar o módulo obtido através do LFWD ao módulo de resiliência obtido em laboratório. O estudo conduzido por Fleming et al. (2000) porém, mostrou que tanto o tipo de transdutor utilizado no equipamento, como a dependência do estado de tensão do material afetam as medidas de módulo obtidas pelo LFWD. A equação para a determinação do módulo através do LFWD é:

$$E_{LFWD} = \frac{2\times(1-\vartheta^2)\sigma R^2}{\delta_c} \qquad [6]$$

Onde,

R – raio do prato

δc – deflexão medida no centro do prato

υ – coeficiente de Poisson

σ – tensão aplicada

Os modelos desenvolvidos nesse estudo correlacionaram o módulo de resiliência obtido em laboratório com os resultados de ensaios de campo, juntamente com propriedades básicas do solo. Uma boa correlação foi encontrada entre os resultados medidos e os previstos pelos modelos.

Nessa primeira etapa do projeto foi apresentada uma revisão bibliográfica sobre o tema, além da seleção dos locais e modo de amostragem.

Em linhas gerais, os seguintes temas foram abordados no Relatório de Acompanhamento I:

A revisão bibliográfica visou buscar na literatura as publicações mais recentes sobre o assunto de maneira a auxiliar na pesquisa laboratorial e de campo que será realizada.

6. SELEÇÃO DOS LOCAIS E MODO DE AMOSTRAGEM

Descreve-se aqui de forma resumida à metodologia aplicada para a seleção dos locais para a coleta de amostra, com as justificativas da escolha, bem como as técnicas de abertura da estrutura do pavimento e cuidados para as verificações de estado dos materiais e coleta das amostras para testes em laboratório.

6.1. Procedimento proposto para seleção dos pontos de análise – Autopista Régis Bittencourt (BR-116)

Foram estudados os resultados de monitoração da BR-116 – Autopista Régis Bittencourt para a seleção de locais em potencial de análise.

Com base na avaliação estrutural do pavimento com o equipamento FWD, constatou-se que existe grande heterogeneidade de comportamento dos indicadores estruturais ao longo de todo o segmento estudado (D0, D120, Rc). Assim sendo, buscaram-se por classificações que conseguissem agrupar o comportamento mecânico da estrutura do pavimento, bem como do subleito, de modo que se possa realizar uma amostragem bem equilibrada, abordando os diferentes "grupos" observados. Identificou-se na literatura correlata o indicador "parâmetro AREA" como sendo um bom indicador da rigidez global da estrutura.

O parâmetro AREA é definido pelo guia de dimensionamento da AASHTO de 1993, e foi originalmente concebido para a avaliação de pavimentos rígidos e retroanálise dos valores de módulo de reação do subleito (k-value) e de módulo de elasticidade do concreto (Epcc). Sua medida equivale à largura virtual que, multiplicada pelo valor da deflexão máxima, resulte na área aproximada da bacia deflectométrica. A expressão para cálculo é a seguinte:

$$AREA = 15 \cdot \left[1 + 2 \cdot \frac{D_{30}}{D_0} + 2 \cdot \frac{D_{60}}{D_0} + \frac{D_{90}}{D_0} \right] \qquad [7]$$

Onde:

AREA = parâmetro AREA, cm; D0, D30, D60 e D90 = Deflexões às distâncias 0, 30, 60 e 90 cm respectivamente, do ponto de aplicação da carga, em 0,01 mm.

A figura 4 ilustra a bacia deflectométrica e os respectivos índices de curvatura, com destaque para o parâmetro AREA.

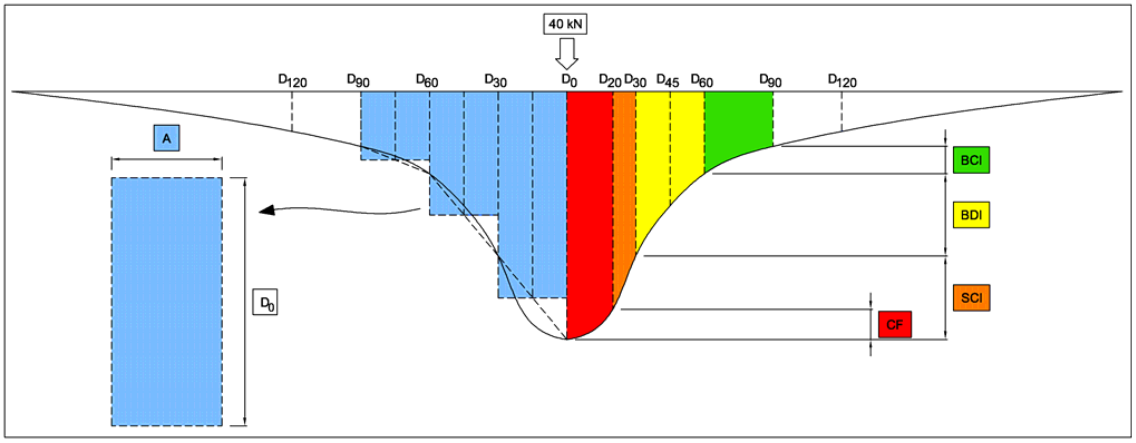


Figura 4: Representação gráfica esquemática da bacia deflectométrica e os respectivos índices de curvatura

O valor numérico máximo que o parâmetro área pode atingir é aproximadamente 90 cm e isso ocorrerá quando as medidas de deflexões D0, D30, D60 e D90 forem iguais, embora na prática isto raramente aconteça. As quatro deflexões iguais ou aproximadamente idênticas numericamente indicam uma estrutura extremamente rígida, semelhante à dos pavimentos de concreto de cimento Portland ou pavimentos asfálticos espessos e de elevado módulo de resiliência.

O mínimo valor do parâmetro área é da ordem de 28 cm e corresponde ao valor determinado para um sistema elástico constituído de apenas uma camada. Isto pode ocorrer quando se efetua o levantamento deflectométrico sobre o topo do subleito. A Tabela 1 ilustra a faixa de valores do parâmetro AREA para alguns tipos de pavimentos segundo o WSDOT (2005).

O segundo critério utilizado será o módulo do subleito retroanalisado a partir do valor de D120, conforme definido no manual da AASHTO/93 pela equação apresentada a seguir.

$$Mr = C \cdot \left(\frac{0{,}24 \cdot P}{d_r \cdot r} \right) \qquad [8]$$

Onde:

Mr = módulo do subleito retroanalisado (psi); P = carga aplicada, libras; dr = deflexão medida a uma distância radial r (pol.); r = distância radial em que é realizada a medida (pol.).

TABELA 1 *FAIXAS DE VALORES DO PARÂMETRO AREA SEGUNDO WSDOT (2005)*

Tipo de Pavimento	Parâmetro AREA (cm)
Pavimento de Concreto - CCP	60 - 90
Asfálticos espessos - CA > 12cm	55 - 75
Asfálticos delgados	40 - 55
Flexíveis "fracos"	28 - 40

Ainda será utilizado um terceiro indicador para diferenciar a condição estrutural do pavimento nos locais a ser amostrado o raio de curvatura. A expressão de cálculo utilizada para a determinação do raio de curvatura é aquela preconizada pelo DNIT em seu Método de Ensaio DNER-ME-024/94.

O raio de curvatura é um parâmetro indicativo do arqueamento da bacia de deformações na sua porção mais crítica, em geral considerada a 25 cm do centro da carga. A norma DNER PRO11/79, que preconiza procedimentos de cálculo de reforço estrutural para reabilitação de pavimentos asfálticos, estabelece que raios de curvaturas baixos (menores que 100 m) indicam condições estruturais críticas da estrutura do pavimento, no caso de pavimentos asfálticos flexíveis.

O cálculo do raio de curvatura é realizado através da expressão indicada a seguir.

$$R_C = \frac{6250}{2 \times (D_0 - D_{25})} \qquad [9]$$

Onde:

D0 = Deslocamento vertical recuperável no ponto de aplicação de carga;

D25 = Deslocamento vertical recuperável distante 25 cm do ponto de aplicação de carga.

Com base na metodologia apresentada, propõe-se para o presente estudo o plano de amostragem apresentado na Tabela 2.

TABELA 2: *PLANO DE AMOSTRAGEM PROPOSTO*

Classificação (AREA) (WSDOT, 2005)	Intervalo do parâmetro AREA (cm)	Condição Subleito (módulo retroanalisado)	Intervalo de Esl, retro (kgf/cm2)	Intervalo de Rc (m)	Quant. Estimada de Amostras.
Flexível fraco	28 - 40	Fraco	200 - 500	20 - 100	1
				100 - 500	1
				500 - 2000	1
		Forte	1800 - 2200	20 - 100	1
				100 - 500	1
				500 - 2000	1
Asfáltico delgado	40 - 55	Fraco	200 - 500	20 - 100	1
				100 - 500	1
				500 - 2000	1
		Forte	1800 - 2200	20 - 100	1
				100 - 500	1
				500 - 2000	1
Asfáltico espesso	55 - 75	Fraco	200 - 500	20 - 100	1
				100 - 500	1
				500 - 2000	1
		Forte	1800 - 2200	20 - 100	1
				100 - 500	1
				500 - 2000	1
Total					18

6.2. Procedimento para Abertura de Poços de Inspeção (PI) no Pavimento Existente e Coleta de Amostras para Ensaios de Laboratório – Autopista Régis Bittencourt (BR116)

A seguir são elencados os passos para a atividade de abertura de poços de inspeção.

- Realizar o fechamento da faixa externa de rolamento na área de interferência do ponto de coleta e sinalizar adequadamente o desvio do tráfego.

- Fazer o registro fotográfico de todas as etapas do trabalho.

- Realizar a demarcação, com giz branco, do local de corte para retirada das amostras em placa e cilíndricas. A demarcação deverá ser realizada na faixa de rolamento

externa da rodovia no quilômetro exato programado. No pavimento a ser inspecionado, deverão ser anotados com giz, o marco quilométrico da via, e a numeração das placas, previamente ao início do registro fotográfico. Os poços deverão ter medida aproximada de 0,60 x 0,90m.

- Realizar sondagem com equipamento de corte rotativo, com diâmetro de 4”. A profundidade total de descida da sonda rotativa deve ultrapassar em 5 cm a espessura da camada a ser extraída, garantindo-se que não ocorra quebra da amostra em ponto intermediário da camada.

- Realizar corte vertical da camada de revestimento com utilização de equipamento de corte adequado que não danifique o material, para retirada deste em formato de placa. Armazenar adequadamente o material para ensaio laboratorial.

- Após a retirada de cada camada, posicionar na janela de inspeção, trena para medição das espessuras das camadas e registrar com câmera fotográfica.

- A depender do tipo de material encontrado na camada subjacente, realizar os ensaios e coletas respectivos.

- Proceder ao fechamento do poço com materiais adequados e fechamento com material asfáltico.

- Embalar e identificar corretamente as amostras coletadas de cada camada do pavimento inspecionado.

No campo, foram seguidos os passos propostos. As fotos apresentadas na sequencia ilustram as etapas seguidas no campo.

Demarcação e abertura do poço de inspeção

Sondagem com sonda rotativa (serra copo)

Extração e medição de corpos de prova – materiais asfálticos

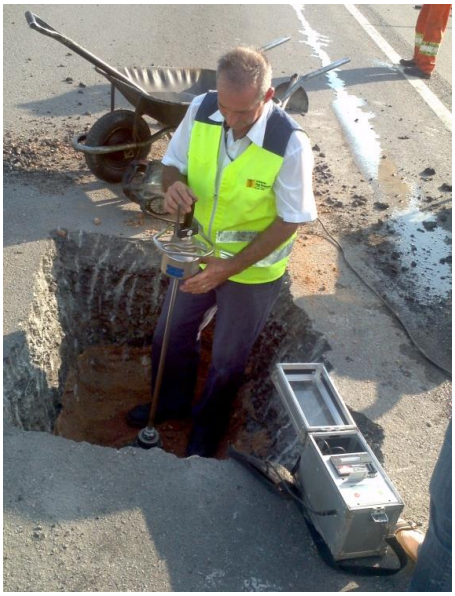
Inspeção visual da camada subjacente (sub-base de Solo-Brita - SB)

Ensaio de densidade *"in situ"* (funil e areia)

Ensaio de umidade (fogareiro)

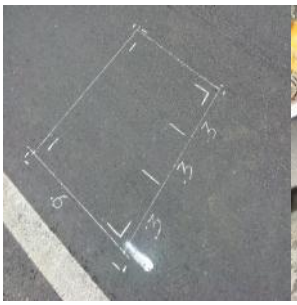
Coleta de amostras para ensaios de laboratório

Coleta de amostras para ensaios de umidade em laboratório



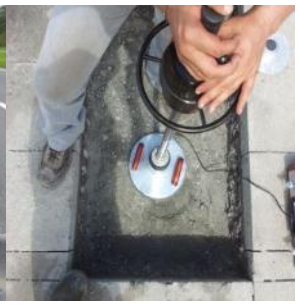
Ensaio deflectométrico *"in situ"* com equipamento tipo *LWD*

Nas fotos a seguir é apresentado o registro fotográfico das etapas de trabalho realizadas para abertura do poço de inspeção do km 418 (pista norte), ensaios de campo e a coleta de materiais para ensaios de laboratório, com ensaios complementares, incluindo LWD.


(i)

(ii)

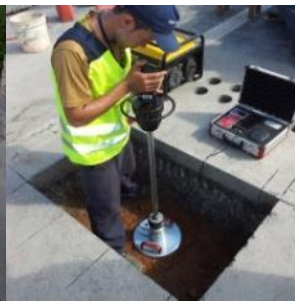
(iii)


(iv)

(v)

(vi)

(vii)


(viii)

(ix)

(x)

(xi)

(xii)

(xiii)

Etapas de trabalho do poço de inspeção km 418 (Pista Norte)

A estrutura existente em acostamento possui espessura e materiais como aponta a Figura 3 a seguir. Foram coletadas amostras dos materiais de solo do subleito e da base de BGS (Brita Graduada Simples) sempre que possível para complementar o estudo.

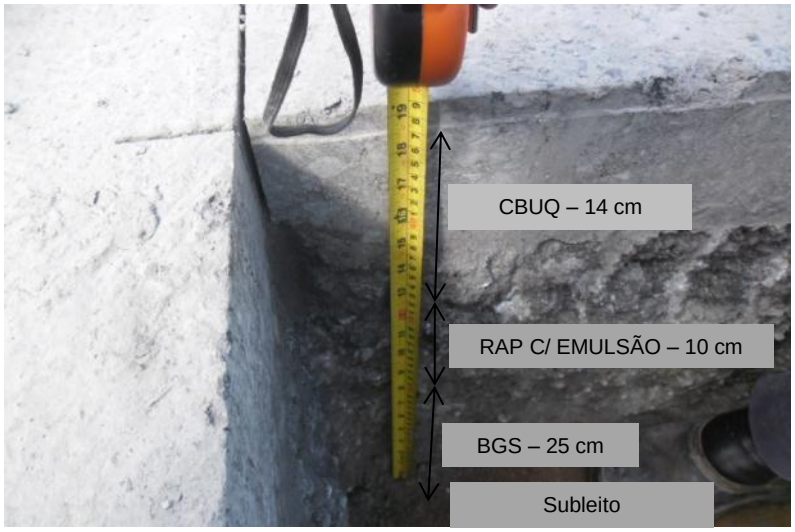


Figura 3: Detalhe da estrutura existente no km 418 (Pista Norte)

Para abertura desta janela foi utilizada uma serra tipo Cliper de modo que fosse possível a retirada de placas de concreto asfáltico (CA) íntegras para serem submetidas a análises em laboratório.

Para cada camada, foram coletadas amostras representativas dos materiais encontrados de modo que se possam melhor estudar os materiais em laboratório. Nas camadas granulares e coesivas (britas graduadas e solos de subleito) foram realizados os seguintes ensaios de campo: (i) Light Weight Deflectometer, (ii) massa específica seca in situ (Frasco de areia) , (iii) umidade natural. Por fim foi realizada a extração e coleta de 10 corpos de prova cilíndricos de material asfáltico.

A atividade foi iniciada com a marcação nos pontos indicados para que fosse possível executar os cortes e extrair três placas de CBUQ, com dimensões de 30,0 cm largura por 60,0 cm de comprimento, e espessura a depender desta em pista. A Figura 4 apresenta os detalhes do processo executivo.

(i) (ii) (iii)

Figura 4: Detalhes do processo de extração: (i) marcação, (ii) serragem, e (iii) placas de CA

Concomitantemente a cada janela aberta com uso de serra Cliper, foram também extraídos corpos de prova com uso de sonda rotativa. Corpos de prova foram coletados para futuras análises de parâmetros de rigidez do material após serviço. A Figura 5 apresenta o resumo de detalhes para o corte e os corpos de prova então extraídos.

(i) (ii)

Figura 5: Extração por sonda rotativa: (i) nivelamento e broqueamento, e (ii) aspecto dos corpos de prova extraídos

7. PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

Uma vez que a rodovia é de tráfego pesado, foram subdivididos os universos em três categorias para estudar o comportamento estrutural, baseado na experiência da equipe técnica. Os limites estabelecidos para os indicadores estruturais encontram-se nas Tabela 3 e Tabela 4.

TRÁFEGO PESADO (Hr e Hb entre 15 e 20cm)

a) Condição A – E<700 kgf/cm2 (subleito fraco)

b) Condição B – 700<E<1.500 kgf/cm2 (subleito intermediário)

c) Condição C – E>1.500 kgf/cm2 (subleito forte)

TABELA 3: LIMITES PROPOSTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA BASE (TODOS OS CASOS)

Indicador Estrutural	Unidade	Infraestrutura / Subleito Fraco						Infraestrutura / Subleito Intermediário						Infraestrutura / Subleito Subleito Forte					
		Base Flexível		Base Intermediária		Base Semi-rígida		Base Flexível		Base Intermediária		Base Semi-rígida		Base Flexível		Base Intermediária		Base Semi-rígida	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
D0	**10^{-2} mm**	**30**	**264**	**23**	**123**	**21**	**88**	**19**	**232**	**14**	**96**	**13**	**70**	**10**	**184**	**7**	**56**	**6**	**41**
D20	10^{-2} mm	27	128	20	93	18	75	16	103	12	70	11	58	7	66	5	36	5	31
D30	10^{-2} mm	25	84	19	75	17	65	15	65	11	55	10	49	4	38	5	26	4	25
D45	10^{-2} mm	23	55	18	53	17	52	13	41	10	38	9	38	2	22	4	18	4	18
D60	10^{-2} mm	21	40	17	41	16	41	10	28	9	29	9	29	2	14	3	13	3	14
D90	10^{-2} mm	16	27	15	27	14	27	7	20	8	19	7	19	2	10	2	9	2	9
D120	10^{-2} mm	12	21	12	20	12	20	6	15	6	14	6	15	1	7	2	7	2	7
R	**m**	**19**	**830**	**80**	**1.021**	**172**	**1.324**	**20**	**893**	**92**	**1.260**	**191**	**1.521**	**22**	**974**	**128**	**1.370**	**249**	**1.599**
D0-D45	**10^{-2} mm**	**7**	**216**	**5**	**69**	**4**	**37**	**6**	**198**	**4**	**58**	**3**	**32**	**5**	**170**	**3**	**38**	**3**	**23**
Área/D0	**cm**	**32**	**74**	**48**	**75**	**56**	**77**	**27**	**71**	**43**	**74**	**51**	**75**	**22**	**65**	**36**	**69**	**39**	**71**
Área	**cm^2**	**2,1**	**9,0**	**1,7**	**6,2**	**1,5**	**5,2**	**1,2**	**7,4**	**1,0**	**4,6**	**0,9**	**3,9**	**0,5**	**5,0**	**0,4**	**2,4**	**0,4**	**2,1**
BDI	**10^{-2} mm**	**4**	**50**	**2**	**35**	**1**	**25**	**4**	**41**	**2**	**27**	**1**	**20**	**1**	**27**	**1**	**14**	**1**	**12**
BCI	**10^{-2} mm**	**3**	**8**	**2**	**8**	**2**	**8**	**2**	**6**	**1**	**6**	**1**	**6**	**0**	**3**	**1**	**3**	**1**	**3**
CF	**10^{-2} mm**	**3**	**139**	**3**	**30**	**2**	**13**	**3**	**132**	**2**	**26**	**2**	**12**	**3**	**122**	**2**	**20**	**2**	**10**
SCI	**10^{-2} mm**	**4**	**189**	**3**	**48**	**3**	**23**	**4**	**177**	**3**	**42**	**2**	**21**	**4**	**159**	**3**	**29**	**2**	**16**
RxD0	**m x 10^{-2} mm**	**4.669**	**31.475**	**8.857**	**34.151**	**11.218**	**42.844**	**4.061**	**26.067**	**7.098**	**29.117**	**8.092**	**37.450**	**3.539**	**16.934**	**5.333**	**19.212**	**5.240**	**24.157**
R/D0	**m / 10^{-2} mm**	**0**	**28**	**1**	**41**	**2**	**50**	**0**	**48**	**1**	**90**	**3**	**108**	**0**	**99**	**2**	**189**	**6**	**239**
F1	**-**	**0,3**	**3,8**	**0,3**	**1,3**	**0,2**	**0,8**	**0,4**	**6,9**	**0,3**	**1,6**	**0,3**	**1,1**	**0,5**	**29,6**	**0,4**	**2,6**	**0,4**	**2,1**
F2	**-**	**0,3**	**2,1**	**0,2**	**1,4**	**0,2**	**1,1**	**0,4**	**3,1**	**0,2**	**1,5**	**0,2**	**1,3**	**0,5**	**10,2**	**0,4**	**1,6**	**0,3**	**1,5**
S	**-**	**35**	**81**	**51**	**83**	**60**	**84**	**31**	**78**	**46**	**81**	**54**	**83**	**27**	**70**	**39**	**76**	**44**	**78**

TABELA 4: LIMITES PROPOSTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA BASE (TRÁF. PESADO)

Indicador Estrutural	Unidade	Infraestrutura / Subleito Fraco						Infraestrutura / Subleito Intermediário						Infraestrutura / Subleito Forte					
		Base Flexível		Base Intermediária		Base Semi-rígida		Base Flexível		Base Intermediária		Base Semi-rígida		Base Flexível		Base Intermediária		Base Semi-rígida	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
D0	**10^{-2} mm**	**30**	**111**	**23**	**65**	**21**	**50**	**19**	**94**	**14**	**53**	**13**	**41**	**10**	**69**	**7**	**34**	**6**	**27**
D20	10^{-2} mm	27	87	20	53	18	42	16	71	12	42	11	33	7	47	5	24	5	19
D30	10^{-2} mm	25	72	19	48	17	40	15	57	11	37	10	31	6	35	5	20	4	17
D45	10^{-2} mm	23	54	18	41	17	36	13	40	10	31	9	28	5	22	4	16	4	15
D60	10^{-2} mm	21	38	17	36	16	32	11	28	9	26	9	24	3	14	3	13	3	12
D90	10^{-2} mm	17	27	15	26	14	26	8	20	8	19	7	19	2	10	2	9	3	9
D120	10^{-2} mm	13	21	13	20	12	20	6	15	6	14	6	15	1	7	2	7	2	7
R	**m**	**98**	**830**	**222**	**1.018**	**319**	**1.126**	**102**	**893**	**228**	**1.260**	**325**	**1.464**	**111**	**974**	**249**	**1.370**	**330**	**1.572**
D0-D45	**10^{-2} mm**	**7**	**57**	**5**	**23**	**4**	**14**	**6**	**54**	**4**	**22**	**3**	**14**	**5**	**47**	**3**	**19**	**3**	**13**
Área/D0	**cm**	**49**	**74**	**59**	**75**	**63**	**76**	**42**	**71**	**51**	**74**	**54**	**75**	**35**	**65**	**38**	**69**	**39**	**71**
Área	**cm^2**	**2,1**	**5,8**	**1,7**	**4,0**	**1,5**	**3,4**	**1,2**	**4,6**	**1,0**	**3,1**	**0,9**	**2,6**	**0,5**	**2,9**	**0,4**	**1,7**	**0,4**	**1,5**
BDI	**10^{-2} mm**	**4**	**34**	**2**	**12**	**1**	**7**	**4**	**30**	**2**	**11**	**1**	**6**	**2**	**23**	**1**	**7**	**1**	**5**
BCI	**10^{-2} mm**	**3**	**8**	**2**	**6**	**2**	**5**	**2**	**6**	**1**	**5**	**1**	**4**	**0**	**3**	**1**	**2**	**1**	**2**
CF	**10^{-2} mm**	**3**	**24**	**3**	**11**	**2**	**9**	**3**	**23**	**2**	**11**	**2**	**8**	**3**	**22**	**2**	**11**	**2**	**8**
SCI	**10^{-2} mm**	**4**	**39**	**3**	**17**	**3**	**11**	**4**	**38**	**3**	**16**	**2**	**11**	**4**	**34**	**3**	**15**	**2**	**11**
RxD0	**m x 10^{-2} mm**	**9.612**	**30.351**	**11.760**	**31.057**	**11.218**	**31.057**	**7.468**	**25.871**	**8.292**	**28.391**	**8.092**	**28.809**	**5.391**	**16.934**	**5.333**	**19.153**	**5.240**	**20.963**
R/D0	**m / 10^{-2} mm**	**1**	**28**	**3**	**41**	**7**	**47**	**1**	**48**	**4**	**90**	**8**	**108**	**2**	**99**	**7**	**189**	**13**	**239**
F1	**-**	**0,3**	**1,2**	**0,3**	**0,7**	**0,2**	**0,6**	**0,4**	**1,6**	**0,3**	**1,1**	**0,3**	**0,9**	**0,5**	**2,8**	**0,4**	**2,2**	**0,4**	**2,1**
F2	**-**	**0,3**	**1,5**	**0,2**	**0,7**	**0,2**	**0,5**	**0,4**	**2,2**	**0,2**	**0,9**	**0,2**	**0,7**	**0,6**	**5,4**	**0,4**	**1,2**	**0,3**	**0,9**
S	**-**	**52**	**81**	**64**	**83**	**69**	**84**	**45**	**78**	**55**	**81**	**60**	**82**	**37**	**70**	**42**	**76**	**45**	**78**

Com base no estudo teórico apresentado e nos estudos de sensibilidade com os resultados de ensaios com solo de jazida em três energias de compactação diferentes, conclui-se que as ferramentas propostas nortearam os locais de sondagem, além de contribuir diretamente para a obtenção dos resultados principais desta pesquisa.

De acordo com os ensaios de campo, foi possível verificar, com os dados disponíveis:

a) O processo de retroanálise com software BAKFAA diretamente a partir dos valores de deflexão com FWD (valores corrigidos pela carga) demonstrou valores de módulos sensivelmente superiores àqueles obtidos pelos demais critérios de retroanálise (aplicação da proposta pela AAHTO/93 com fator de correção de 0,33 e cálculo do módulo a partir do ensaio de LWD diretamente sobre a camada de subleito aplicando a equação de Bousinesq), confirmando os resultados obtidos no ensaio piloto (km 414, pista sul). Ou seja, seria necessário, e bastante prudente, a utilização de um fator de correção semelhante ao utilizado pela AASHTO/93 (C=0,33) quando da obtenção dos valores de módulo do subleito retroanalisados diretamente a partir da bacia de deflexões do ensaio de FWD. Este fator redutor de 1/3 pode ser diferente em outras condições e tipos de solos, porém não há estudos desta natureza no Brasil e mesmo fora dos Estados Unidos que comprovem um fator redutor menor ou mesmo maior.

b) A classificação de comportamento flexível ou semirrígido pode ser verificada com a metodologia aplicada.

c) Os dados foram confrontados com os ensaios de laboratório para confirmação das hipóteses apresentadas para calibração da correlação entre Módulo e CBR.

Através dos procedimentos de avaliação em campo e retroanálise das camadas do pavimento existente e descrito no presente relatório, notou-se um comportamento bastante diferenciado do material de subleito do km 492 (pista norte) cujos valores de módulo apresentaram-se excessivamente elevados em relação aos demais – em alguns casos, verificado pelo processo de retroanálise, o valor ultrapassou o patamar de 1.500 kgf/cm2 mesmo após aplicação do coeficiente c=0,33 recomendado pela AASHTO/93. A princípio, há indícios de que pode se tratar de material com certo grau de laterização ou mesmo de material quimicamente estabilizado. Esta suposição poderá ser confirmada após a realização dos ensaios de classificação MCT e módulo de laboratório já em andamento.

8. RESULTADOS EM TODOS OS POÇOS PESQUISADOS

O relatório final tem por objetivo apresentar, de maneira sumarizada, os resultados obtidos durante todo o período desta pesquisa bem como realizar análise mais aprofundada dos dados, buscando obter correlações, modelos e coeficientes de calibração que melhor explicassem a variação de comportamento mecânico do subleito, seus eventuais efeitos sobre a deterioração das estruturas de pavimento e a relação entre os valores de CBR e os valores de módulo de resiliência das amostras ensaiadas.

Apresentam-se a seguir os resultados mais importantes, obtidos em cada um dos poços de inspeção realizados no pavimento.

8.1. Poço de Inspeção do km 402 (Pista Norte)

A Figura 6 e Figura 7 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 402 (pista norte) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se que este pavimento se situa numa área de predominância de solo arenoso e cascalho.

A Tabela 5 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento. De acordo com este registro, o pavimento do km 402, pista norte passou por intervenções do tipo reciclagem de base no ano de 2011.

A Tabela 6 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Este pavimento foi identificado como pavimento do tipo semirrígido com base de BGTC.

A Tabela 7 e Tabela 8 apresentam os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito e camada de sub-base granular. Enquanto a Figura 8 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que a situação de campo está bastante próxima à condição de umidade ótima e densidade máxima do material ensaiado.

A Figura 9 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 10 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito para duas situações históricas distintas, ilustrando as variações de comportamento do subleito registradas através dos ensaios com FWD.

A Tabela 9 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito.

A Figura 11 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo medido em laboratório e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura para as condições de umidade ótima e densidade máxima. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Rada & Witczac (1981), Carmichael & Stuart (1985) e Jin et. al. - solo 2 (1994).

A Figura 12 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura para as condições de umidade e densidade aferidas no ensaio in situ. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Malla & Joshi (2006), e AASHTO/2002 (ME-PDG).

A Figura 13 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma convergência maior para o modelo de Takeda (2006).

A Figura 14 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 15 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 16 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 17 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

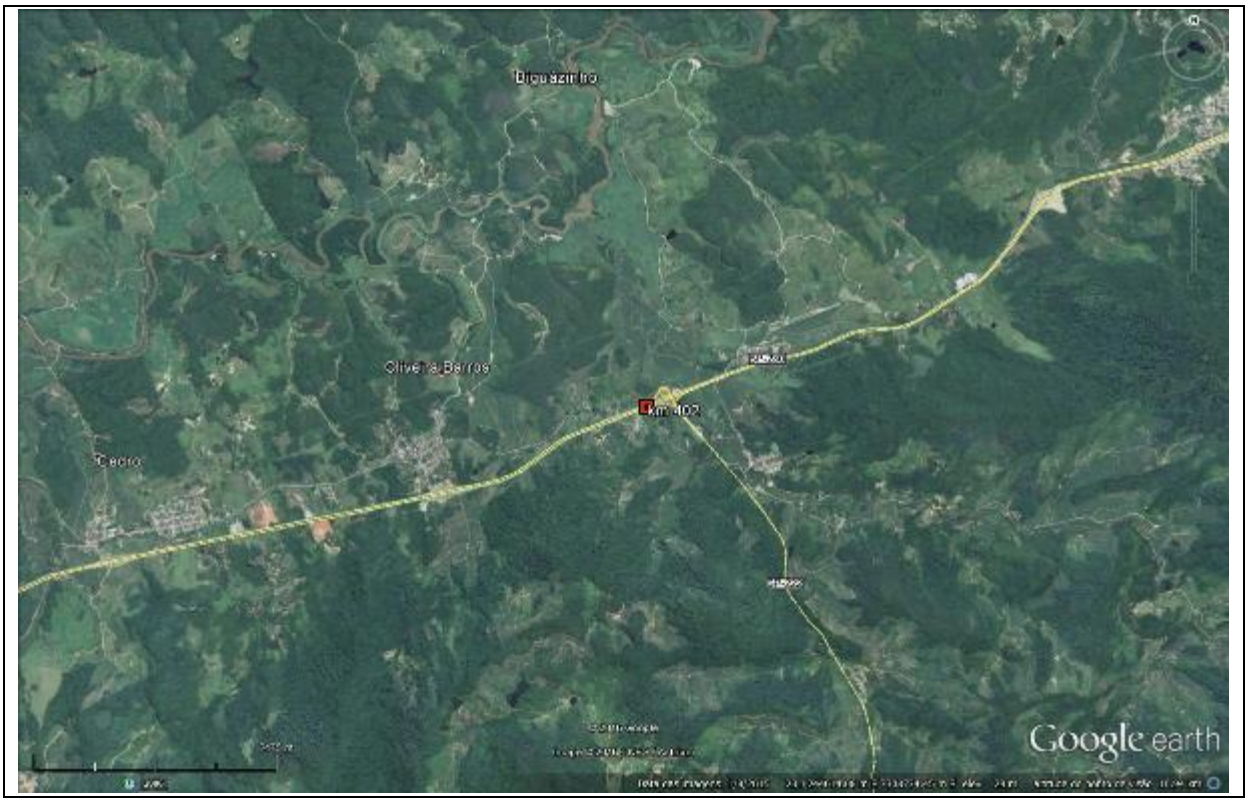
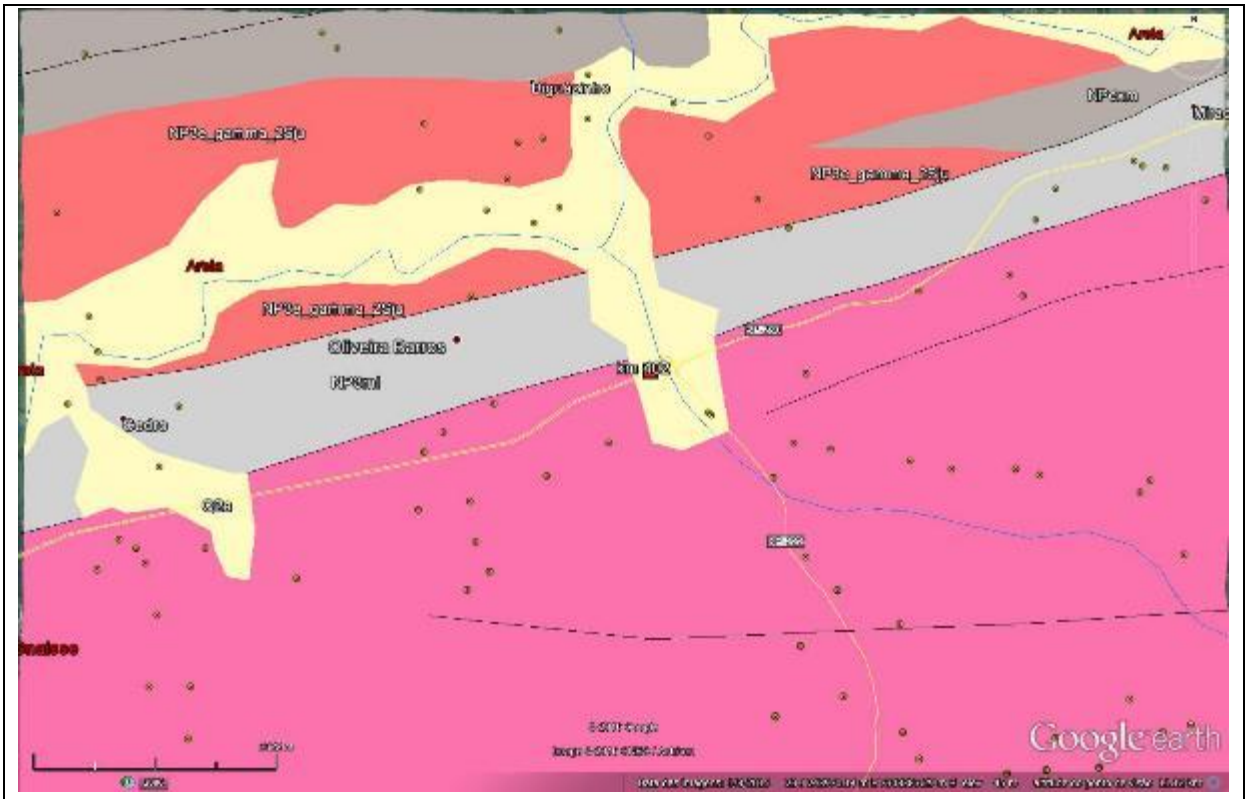


Figura 6: Localização do ponto sondado – km 402 (Pista Norte)
Fonte: Google Earth®



LEGENDA:

- Xistos, localmente migmatíticos: Xisto
- Granito Juquiá: Monzogranito
- Rochas miloníticas: Protomilonito, Milonito, Ultramilonito
- Atuba, Gnaisse Itapeúna: Gnaisse, Biotita monzogranito, Diorito, Granito gnaisse
- Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho
- Afloramentos

Figura 7: Mapa Geológico do local sondado – km 402 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 5: histórico de intervenções informado - km 402 (pista norte)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Interv.
402	401,990	402,205	MICROREVESTIMENTO	3,80	1,00	17/06/2011
	401,820	402,240	RECICLAGEM DE BASE	3,85	32,00	06/07/2011

Tabela 6: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 402 (pista norte)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
402	Norte	1	13,0	CA
		2	19,0	BGTC
		3	16,0	BGS
		4	-	SL

Tabela 7: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

Resumo											
km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
402	BGS	34	67	51	13	26	336	663	477	130	27
402	SL	34	67	45	14	31	336	669	537	140	26

Tabela 8: Estatística dos resultados de determinação do módulo da camada de BGS

Resumo						
km	Material	$E_{sb,retro}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
402	BGS	849	2.697	1.601	738	46

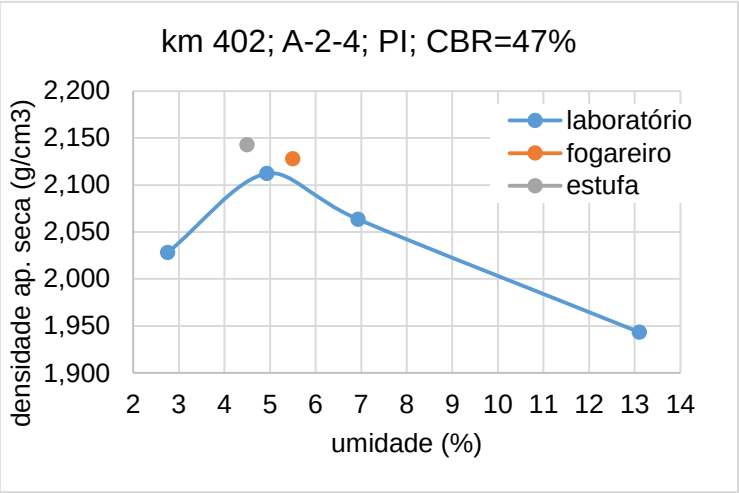
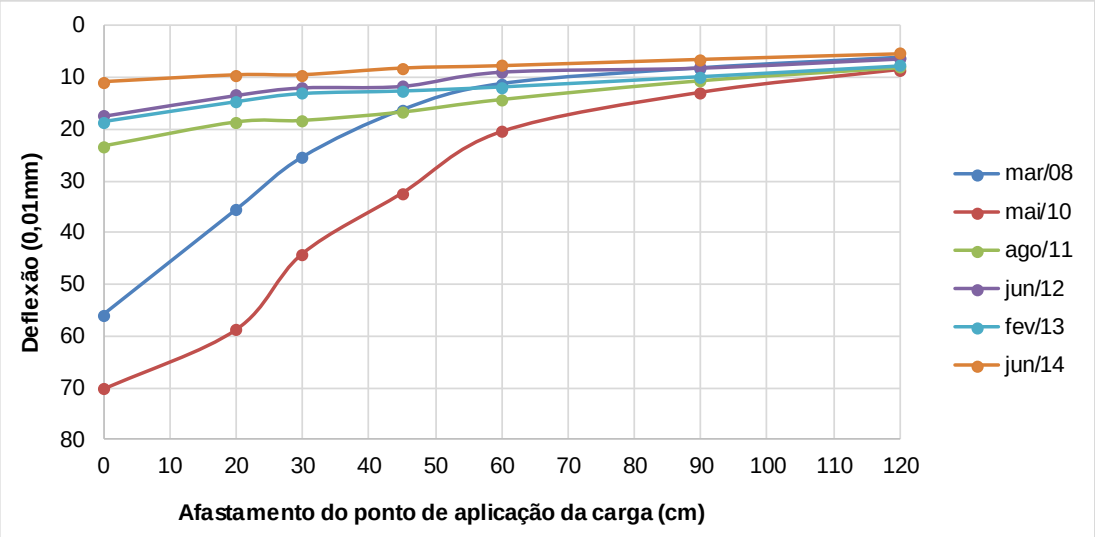


Figura 8: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 402, norte)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esb (kgf/cm²)	Esl (kgf/cm²)	Esl x 0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO/ 93)
Espessuras (cm)			**13,0**	**19,0**	**16,0**	**-**	**-**	**-**
Materiais			**CA**	**BGTC**	**BGS**	**SL**	**SL**	**SL**
mar/08	-	-	* Provável estrutura antiga de pavimento flexível					441
mai/10	29	37						317
ago/11	25	35	13.000	90.000	3.000	1.100	363	335
jun/12	26	30	15.550	110.500	3.500	1.660	548	431
fev/13	34	41	19.100	120.000	3.500	1.330	439	350
jun/14	12	17	83.500	130.000	3.500	1.870	617	511

Figura 9: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 402 (pista norte)

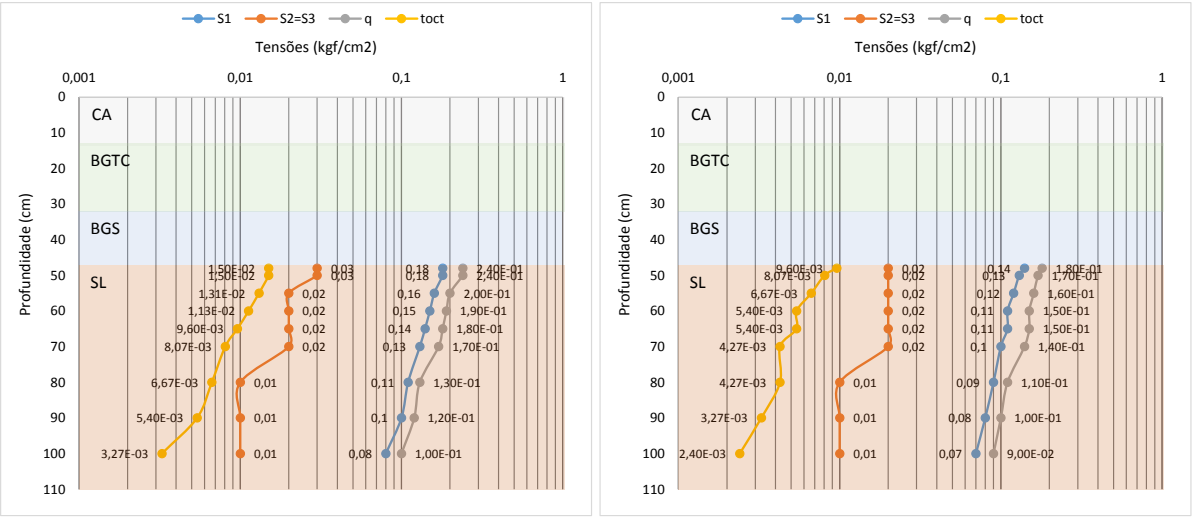


Figura 10: Tensões no subleito calculadas para (a) ago/2011 e (b) jun/2014

Tabela 9: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 402

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm
1	**BR-116**	**402,0**	NORTE	Subleito	5,0	-	2,050	I	1.194	0,560	0,98	609	0,412	0,77	1.094
2	**BR-116**	**402,0**	NORTE	Argila siltosa vermelha	20,3	-	1,493	N	16	-0,530	0,56	18	-0,620	0,93	1.537

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)														Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01					
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F		LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	**BR-116**	**402,0**	NORTE	Subleito							92	83	56		34				0,0	0,0	0	A-2-4
2	**BR-116**	**402,0**	NORTE	Argila siltosa vermelha	100	100	100	100	100	99	98	91	82	76	56	56	24		63,7	26,7	14	A-7-5

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	**BR-116**	**402,0**	NORTE	Subleito	I	2,110	5,0	47	0,0	NA-NS'	**ND**	5,5	2,143
2	**BR-116**	**402,0**	NORTE	Argila siltosa vermelha	N	1,493	20,3	2	6,3	NG'	**ND**	**ND**	**ND**

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm3)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	**BR-116**	**402,0**	NORTE	Subleito	34	22	27	9	8	2,60	23,2	55,4	61,6
2	**BR-116**	**402,0**	NORTE	Argila siltosa vermelha	56	26	10	7	2	2,70	80,8	67,8	ND

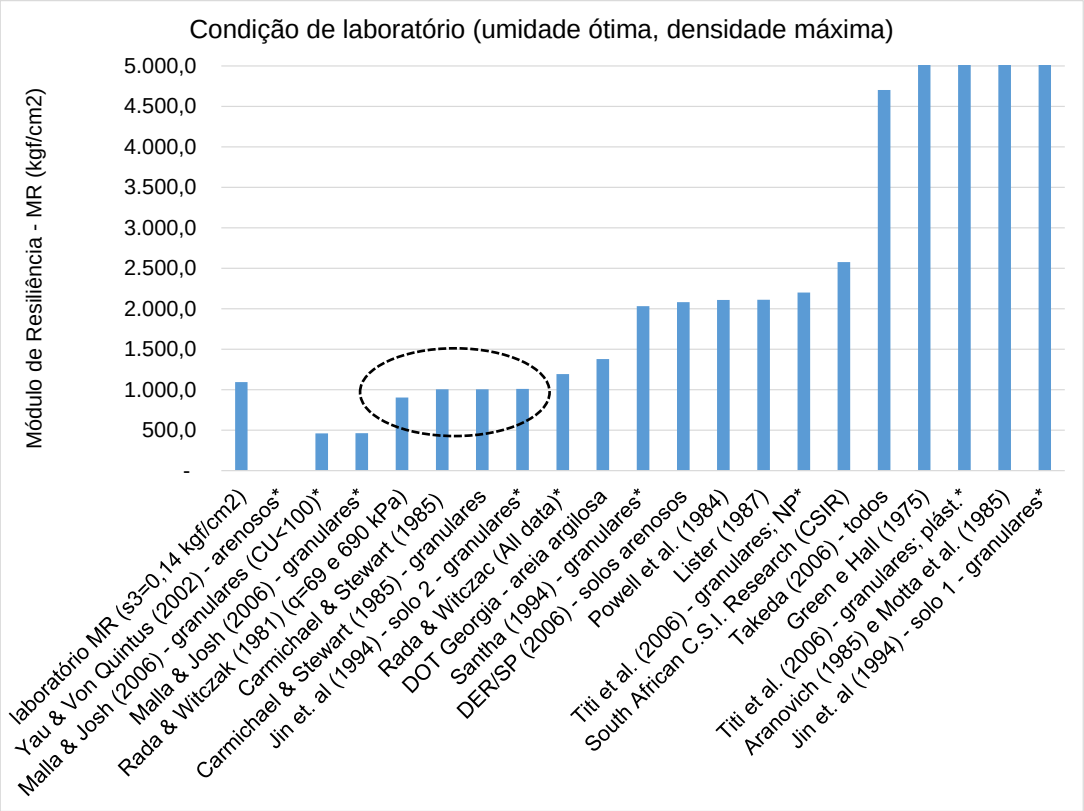


Figura 11: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

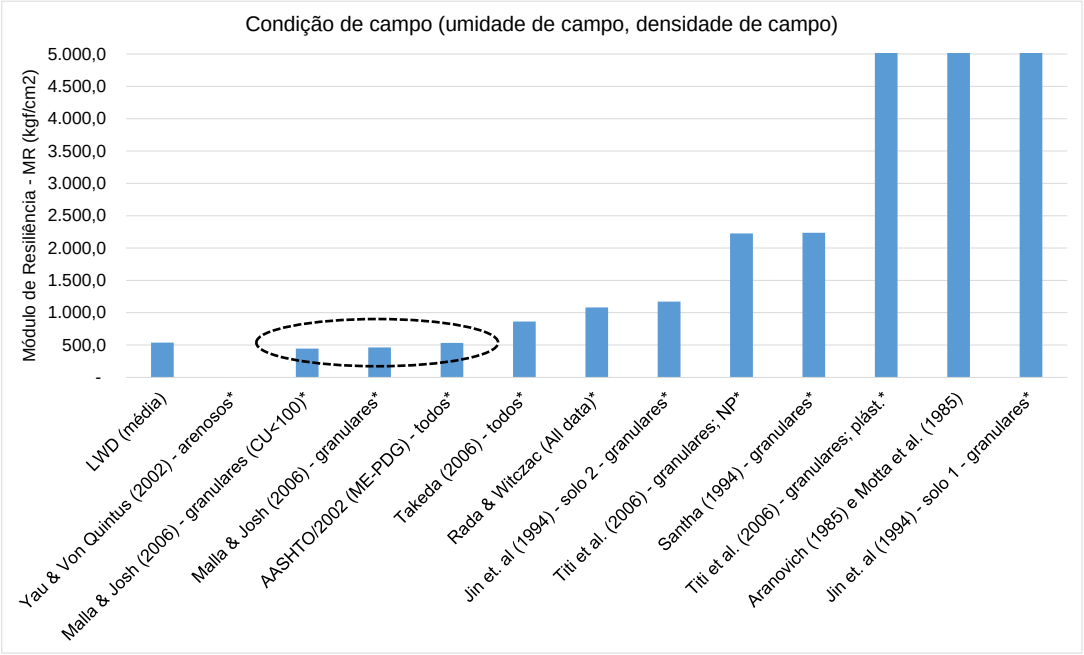


Figura 12: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

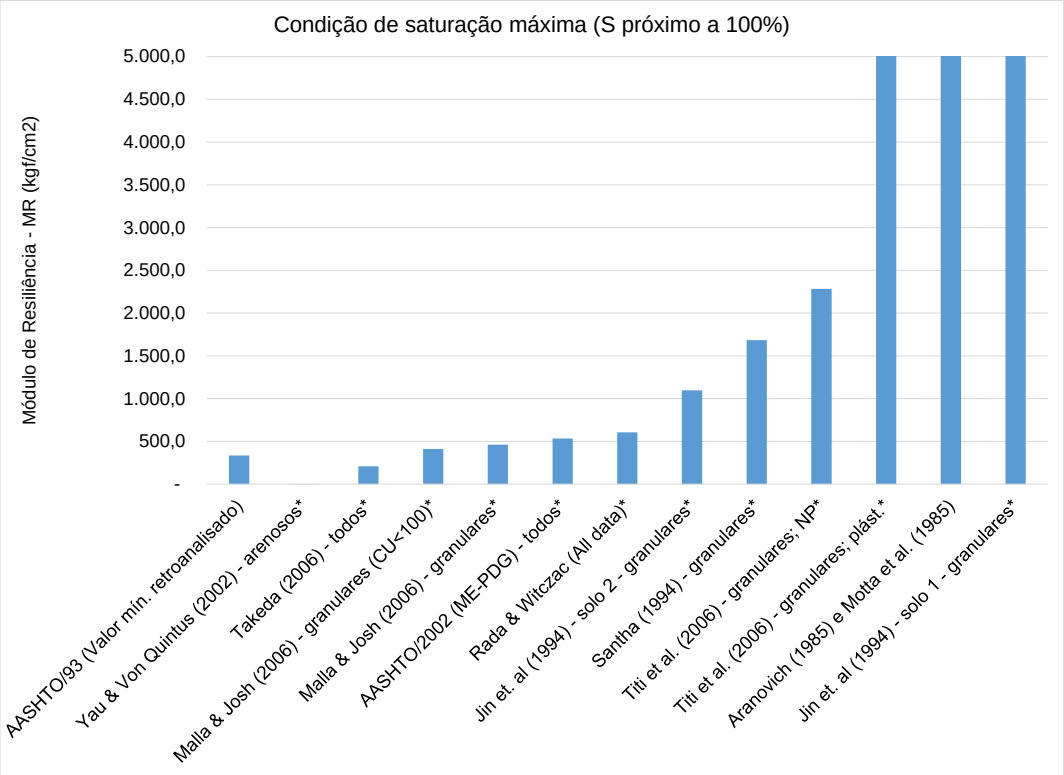
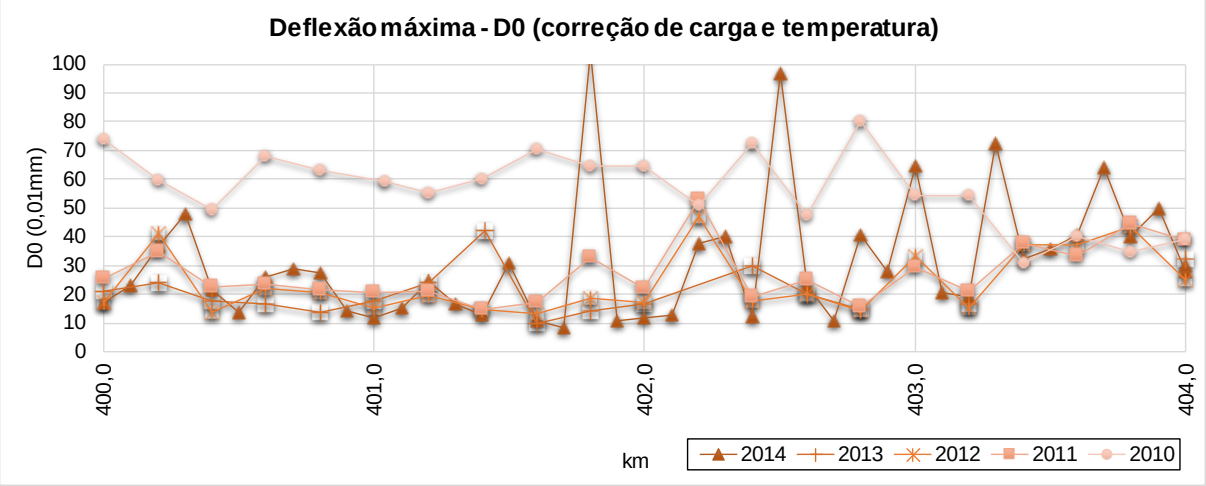
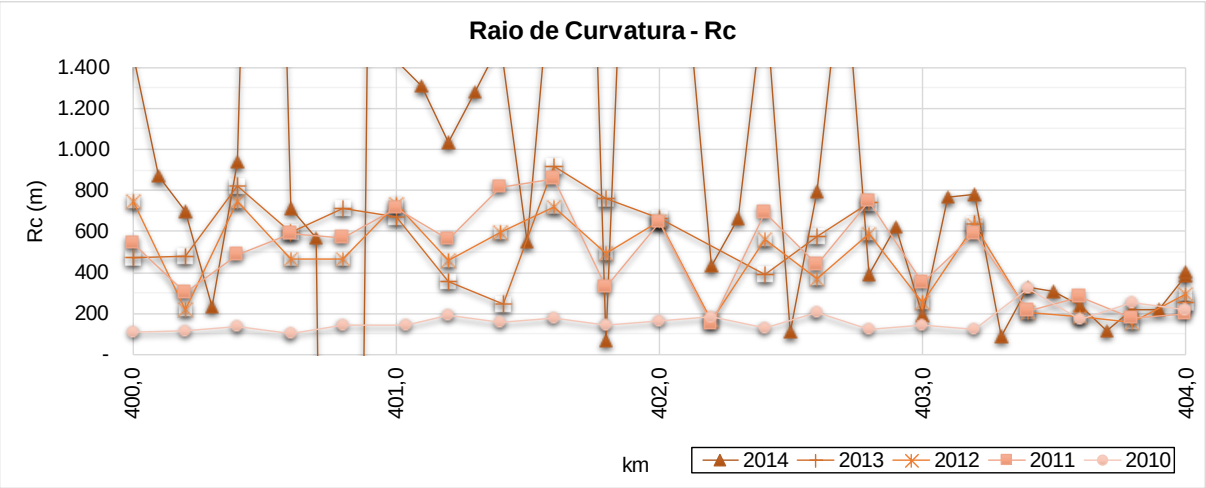


Figura 13: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





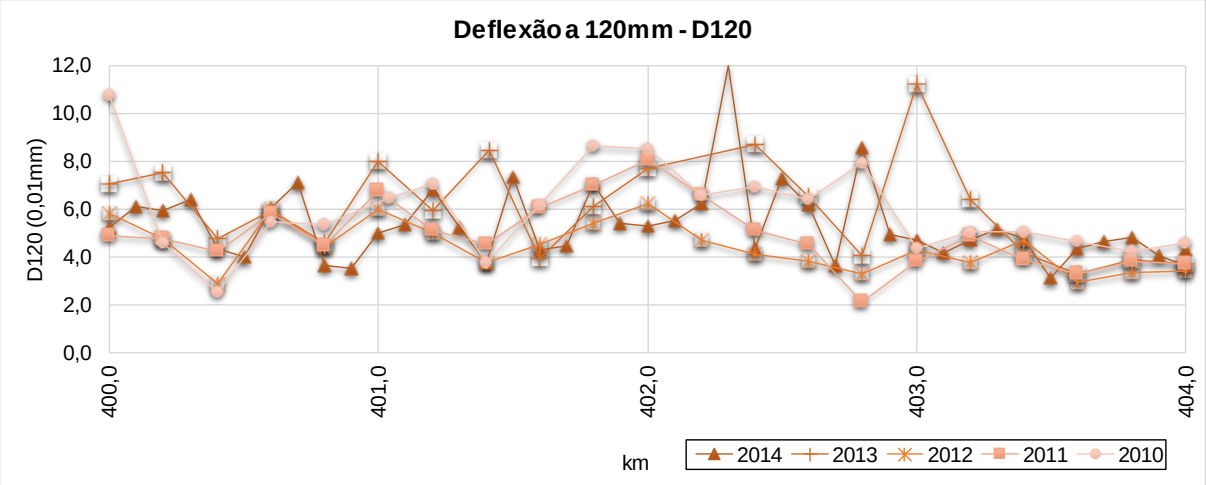
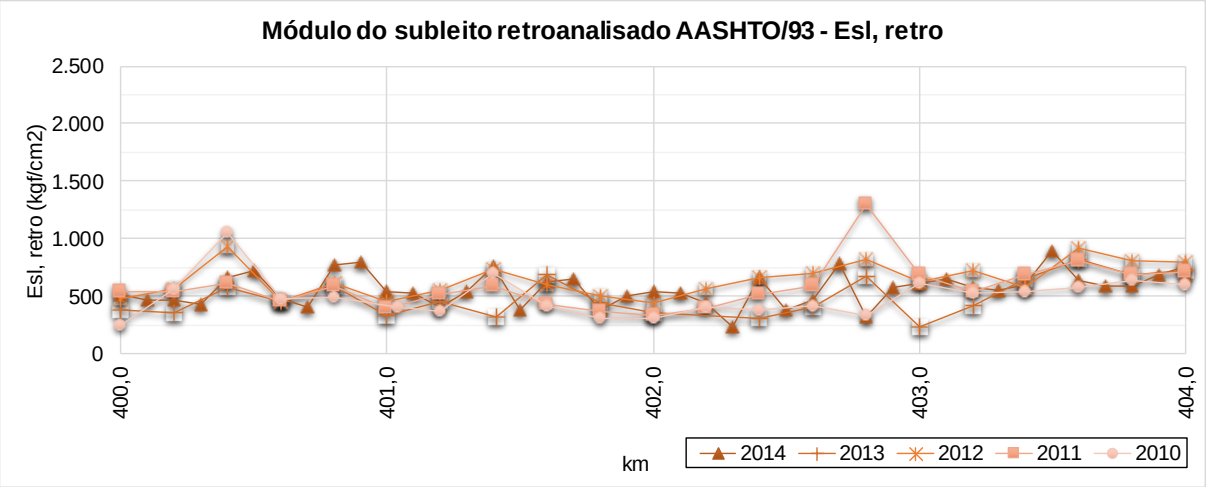


Figura 14: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 402 (pista norte)



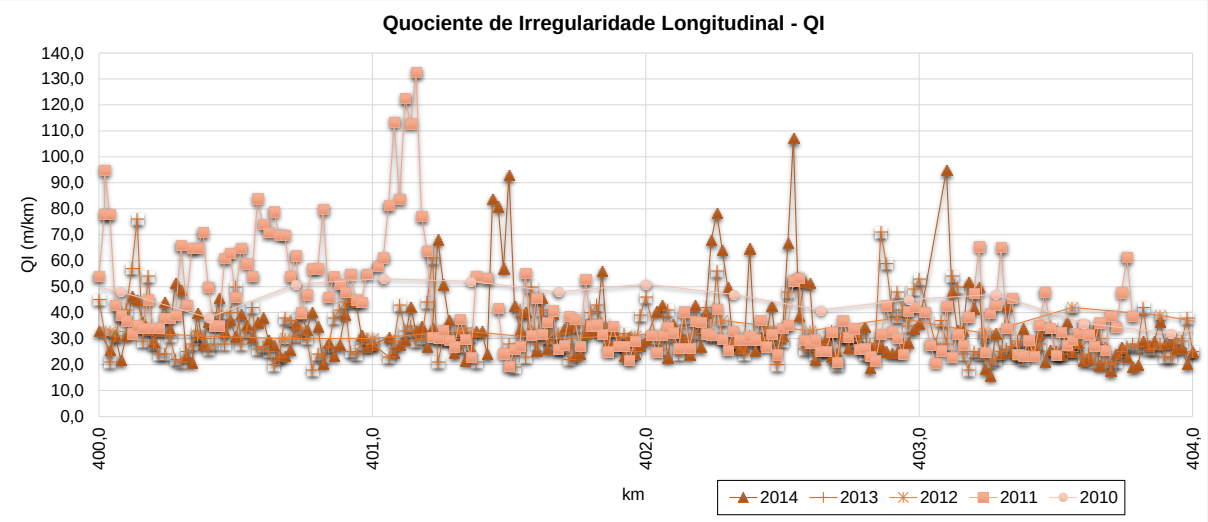


Figura 15: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 402 (pista norte)

401,5 402,5 DECRESCENTE

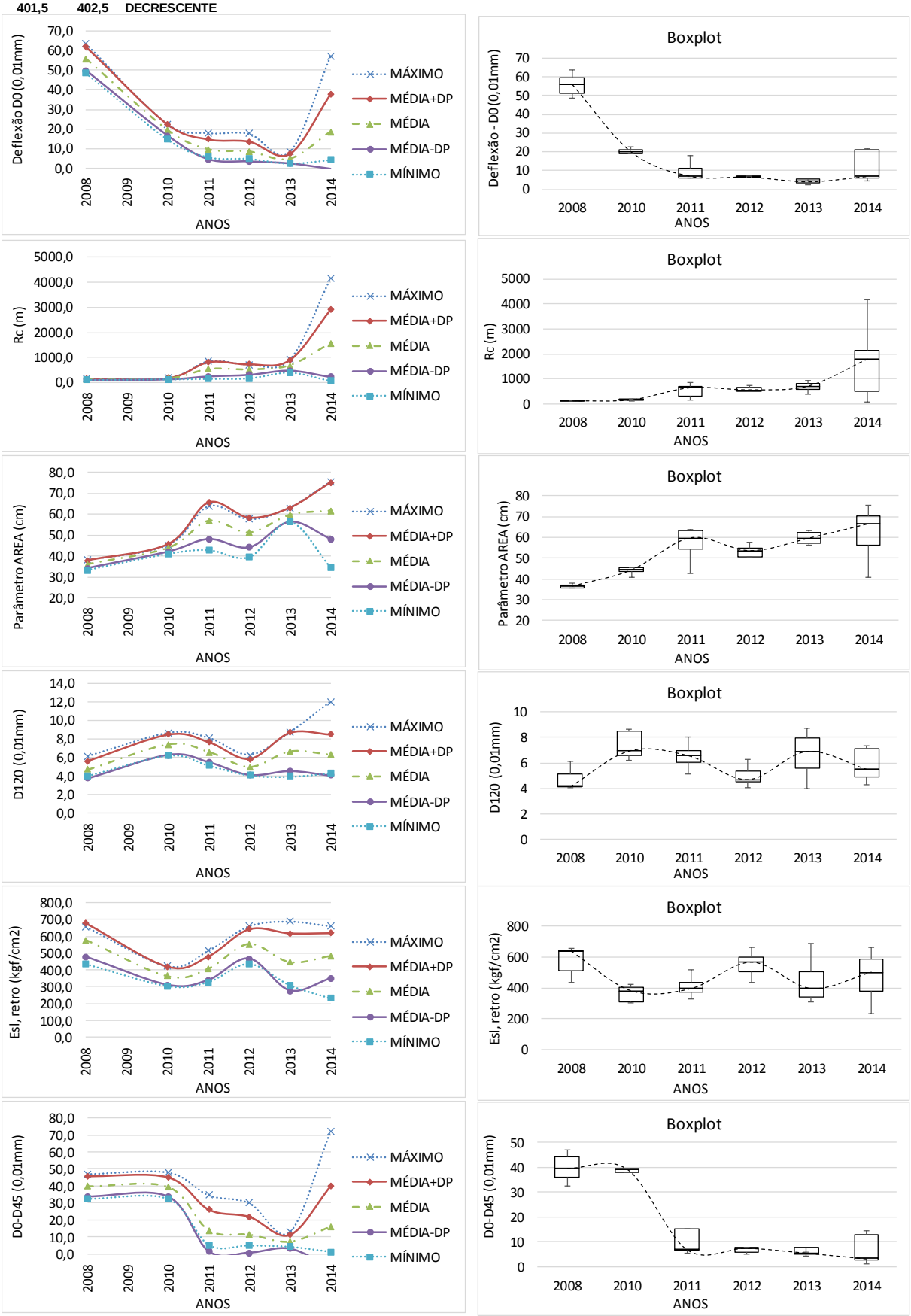


Figura 16: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 402)

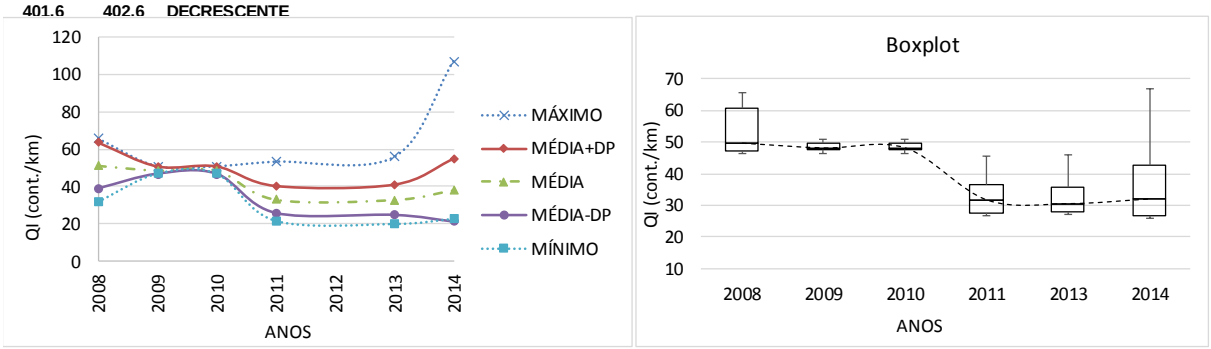


Figura 17: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 402)

8.2. Poço de Inspeção do km 405 (Pista Norte)

A Figura 18 e Figura 19 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 405 (pista norte) bem como o mapeamento geológico do local.

A Tabela 10 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento.

A Tabela 11 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Este pavimento foi identificado como pavimento do tipo flexível com base granular.

A Tabela 12 e Tabela 13 apresentam os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito e camada de base granular. Enquanto a Figura 20 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que o material no campo está em densidade e umidade bastante inferiores àquelas relativas à condição ótima de compactação.

A Figura 21 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 22 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito para duas situações históricas distintas, ilustrando as variações de comportamento do subleito registradas através dos ensaios com FWD.

A Tabela 14 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 23 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo medido em laboratório e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade ótima e densidades máximas relativas à energia intermediária de compactação. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Rada & Witczac (1981), Mall & Josh (2006).

A Figura 24 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e o valor de módulo previsto pelos modelos da literatura para as condições de umidade e densidade verificadas em campo no momento da abertura do poço de inspeção. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Malla & Joshi – materiais granulares (2006), e AASHTO/2002 (ME-PDG).

A Figura 25 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma convergência maior para o modelo da AASHTO/2002 e Malla & Joshi – materiais granulares (2006).

A Figura 26 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 27 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 28 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 29 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

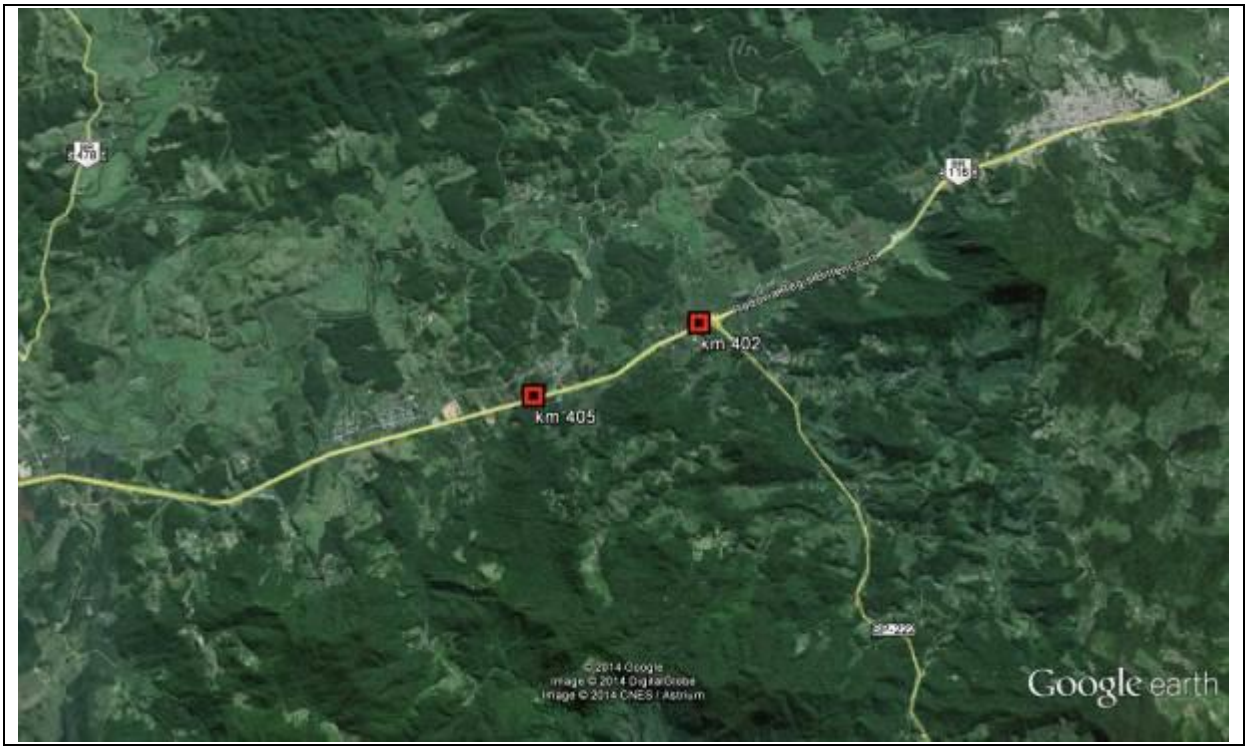
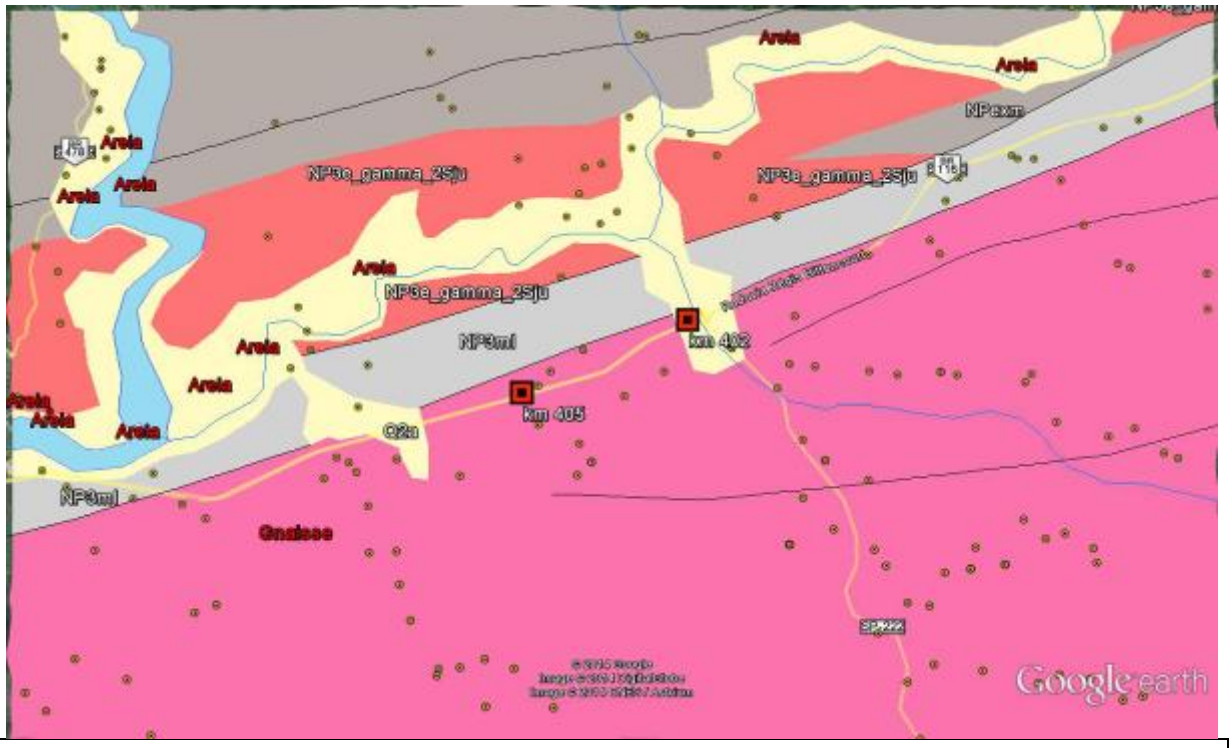


Figura 18: Localização do ponto sondado – km 405 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®



LEGENDA:

- Atuba, Gnaisse Itapeúna: Gnaisse, Biotita monzogranito, Diorito, Granito gnaisse
- Granito Juquiá: Monzogranito
- Rochas miloníticas: Protomilonito, Milonito, Ultramilonito
- Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho
- Xistos, localmente migmatíticos: Xisto
- Áreas inundáveis

Figura 19: Mapa Geológico do local sondado – km 405 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 10: histórico de intervenções informado - km 405 (pista norte)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Interv.
405	404,851	405,008	FRESAGEM FUNCIONAL	4,38	4,00	05/07/2008
	404,800	405,512	REFORÇO DE PAVIMENTO COM ASFALTO BORR	3,94	5,21	23/10/2010
	404,979	405,000	FRESAGEM ESTRUTURAL	4,00	6,00	21/07/2011
	404,720	405,000	FRESAGEM FINA	4,00	1,50	06/12/2012
	404,551	405,033	MICROREVESTIMENTO	4,30	1,20	11/01/2013
	404,800	405,100	FRESAGEM FINA	4,00	1,20	09/04/2014
	404,785	405,110	MICROREVESTIMENTO	4,30	1,20	12/06/2014

Tabela 11: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 405 (pista norte)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
405	Norte	1	14,0	CA
		2	26,0	BGS
		3	-	SL

Tabela 12: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
405	BGS	23	28	26	2	8	801	986	864	78	9
405	SL	34	87	55	22	41	260	673	473	171	36

Tabela 13: Estatística dos resultados de determinação do módulo da camada de BGS

km	Material	$E_{sb,retro}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
405	BGS	3.724	5.303	4.257	662	16

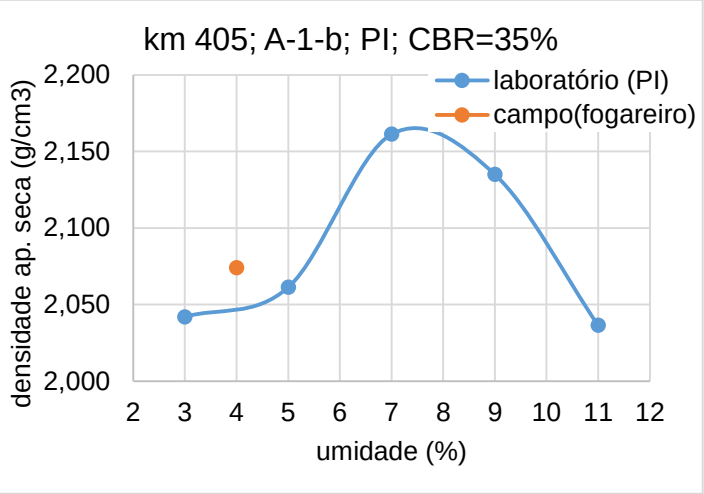
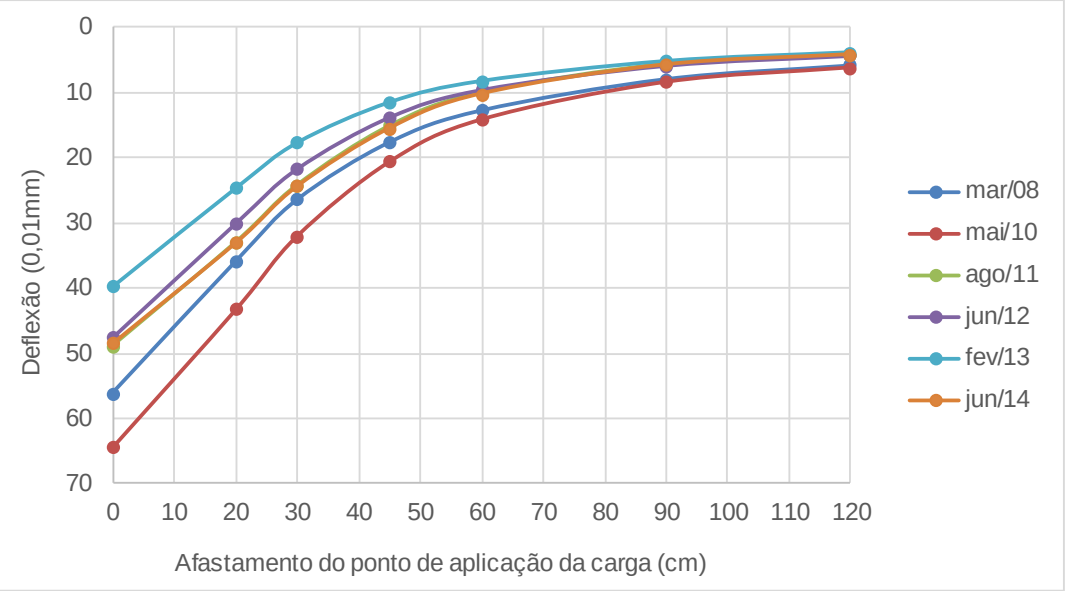


Figura 20: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 405, norte)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esl (kgf/cm²)	Esl x 0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO/ 93)
Espessuras (cm)			**14,0**	**26,0**	**-**	**-**	**-**
Materiais			**CA**	**BGS**	**SL**	**SL**	**SL**
mar/08			8.600	1.500	1.500	495	521
mai/10	30	38	10.100	920	1.400	462	477
ago/11	30	38	14.300	1.000	2.050	677	749
jun/12	28	31	10.500	1.500	2.000	660	672
fev/13	34	40	11.000	2.100	2.300	759	671
jun/14	17	25	15.000	1.000	2.000	660	677

Figura 21: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 405 (pista norte)

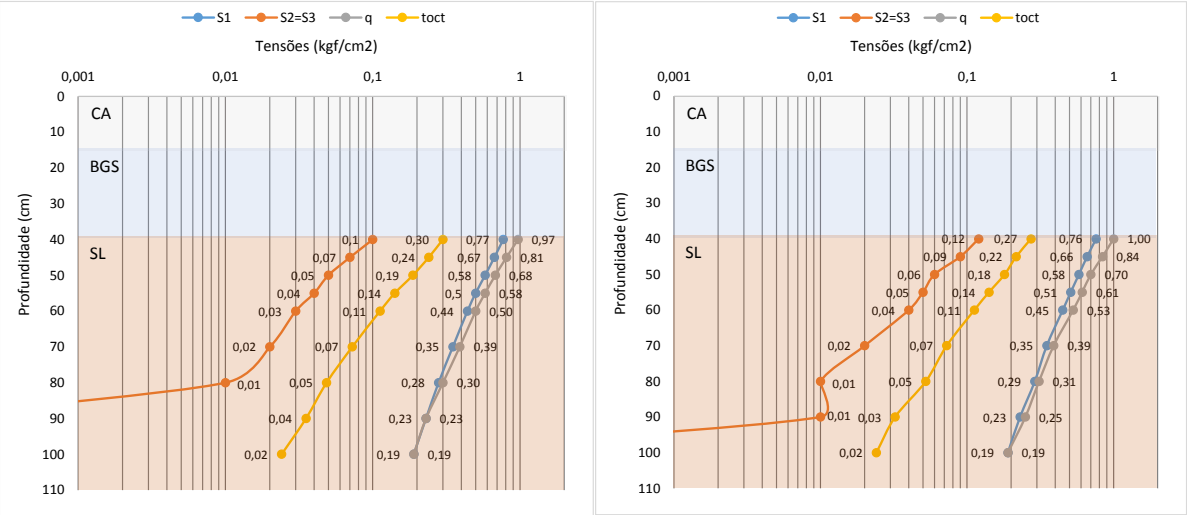


Figura 22: Tensões no subleito calculadas para (a) mai/2010 e (b) jun/2014

Tabela 14: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 405

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm)
1	**BR-116**	**405,0**	NORTE	Subleito	7,0	-	2,160	I	1.382	0,610	0,95	652	0,440	0,74	1.022
2	**BR-116**	**405,0**	NORTE	Cascalho variegado	10,5	-	2,035	N	589	0,410	0,95	323	0,250	0,52	1.023

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	**BR-116**	**405,0**	NORTE	Subleito	100	100	87	82	77	72	60	47	23	15	12			20,1	4,4	0	A-1-b
2	**BR-116**	**405,0**	NORTE	Cascalho variegado	100	99	99	93	89	79	63	34	25	20	14	14	3	0,0	0,0	0	A-1-b

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	**BR-116**	**405,0**	NORTE	Subleito	I	2,160	7,0	35	0,0	NS'/NA'	**ND**	4,0	2,074
2	**BR-116**	**405,0**	NORTE	Cascalho variegado	N	2,035	10,5	7	0,7	NS'/NA'	**ND**	**ND**	**ND**

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm3)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	**BR-116**	**405,0**	NORTE	Subleito	12	11	24	14	40	2,60	20,4	89,3	51,1
2	**BR-116**	**405,0**	NORTE	Cascalho variegado	14	11	10	29	37	2,60	27,8	98,3	ND

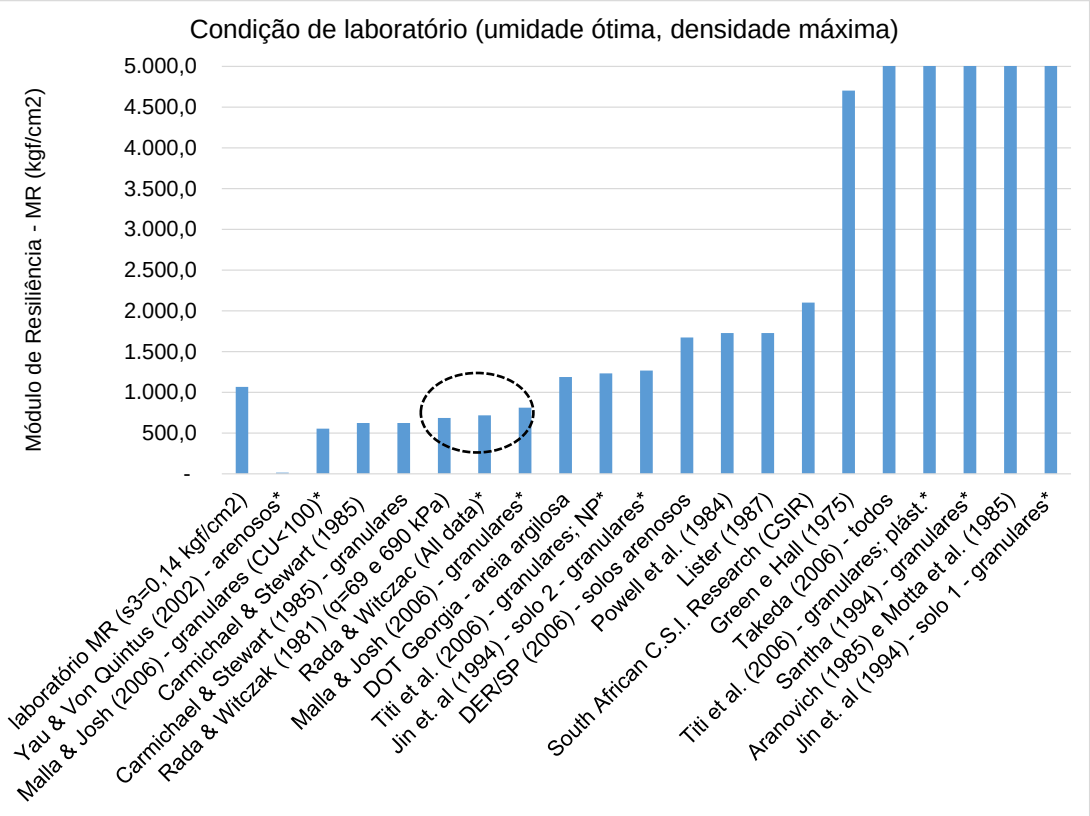


Figura 23: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

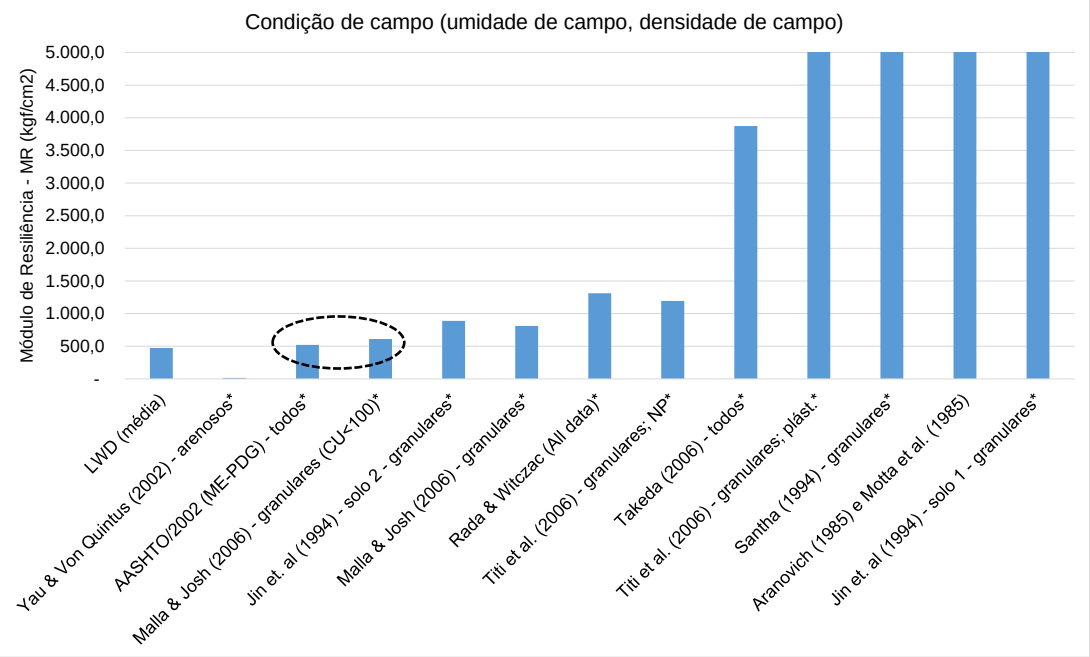


Figura 24: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

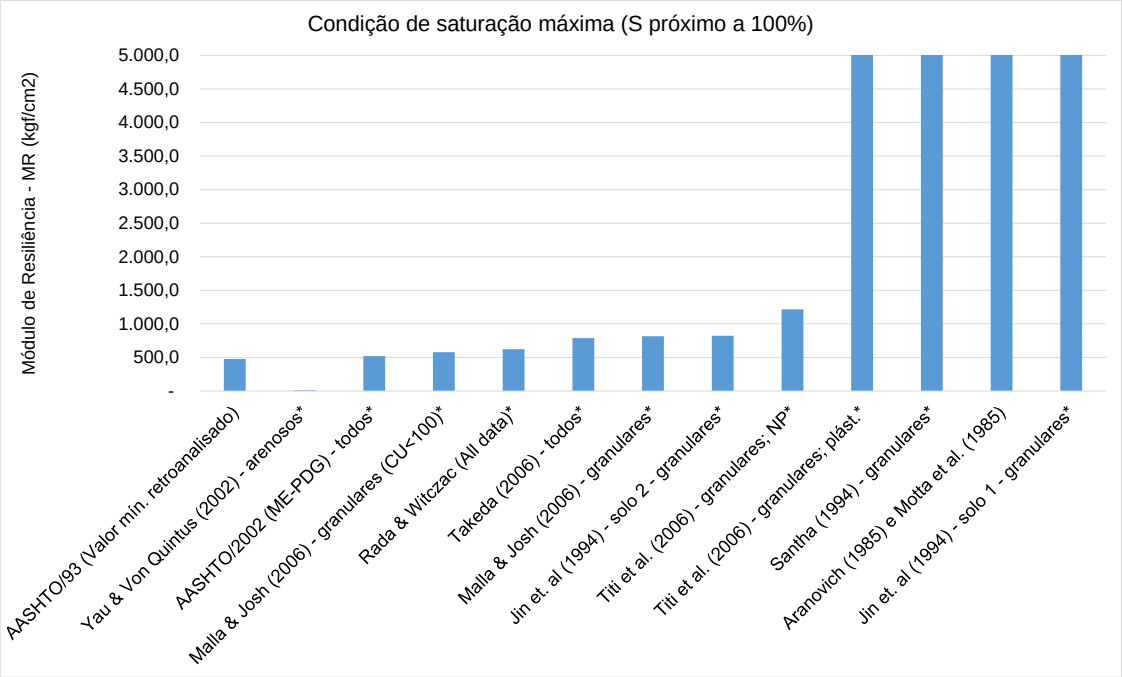
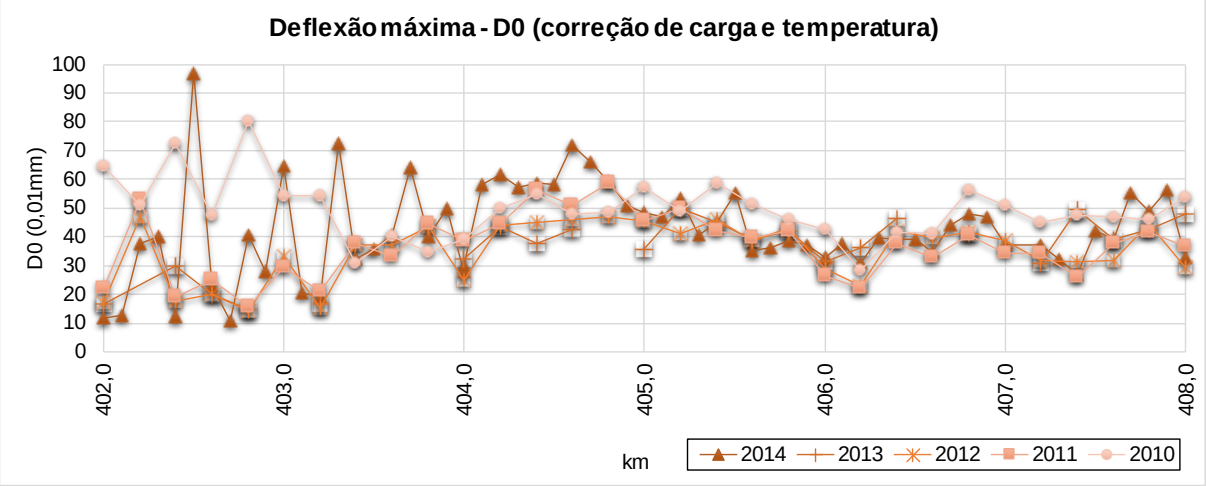
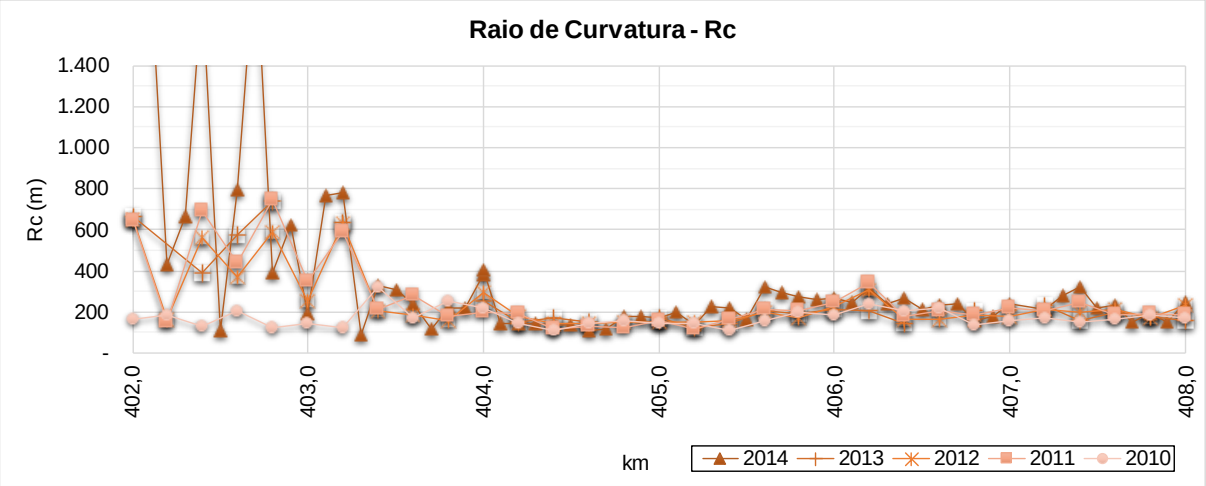


Figura 25: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





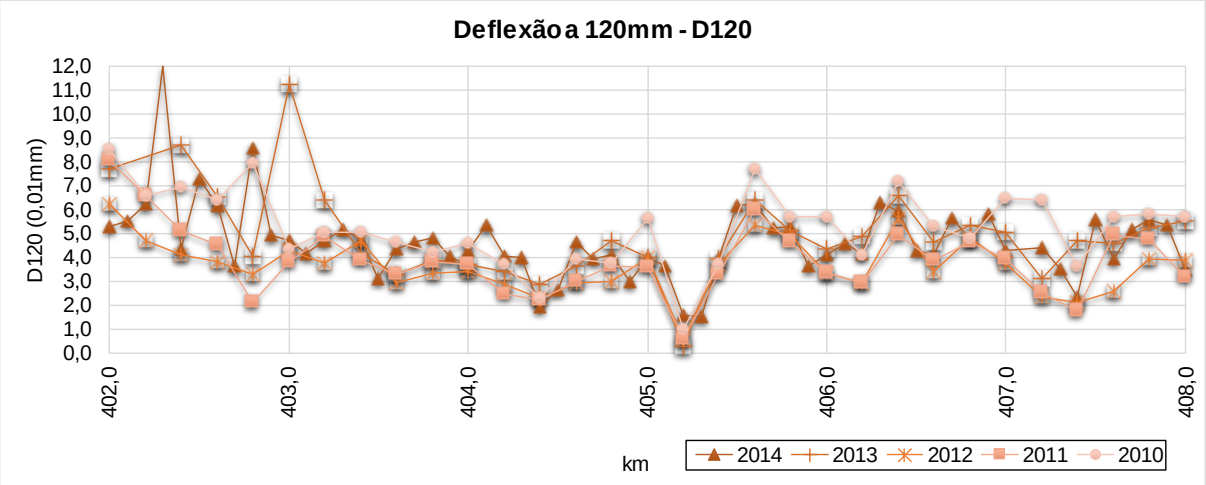
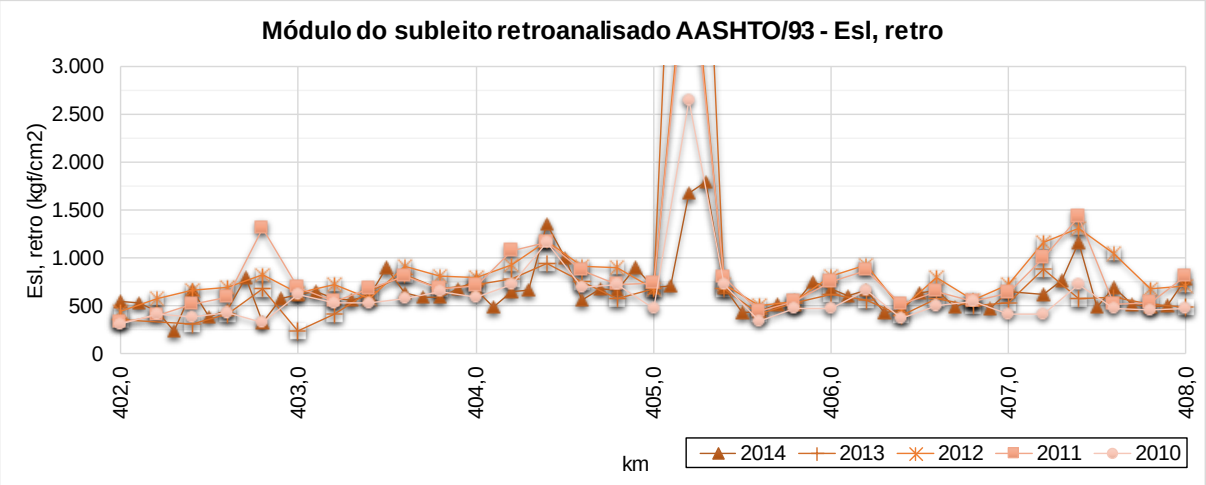


Figura 26: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 405 (pista norte)



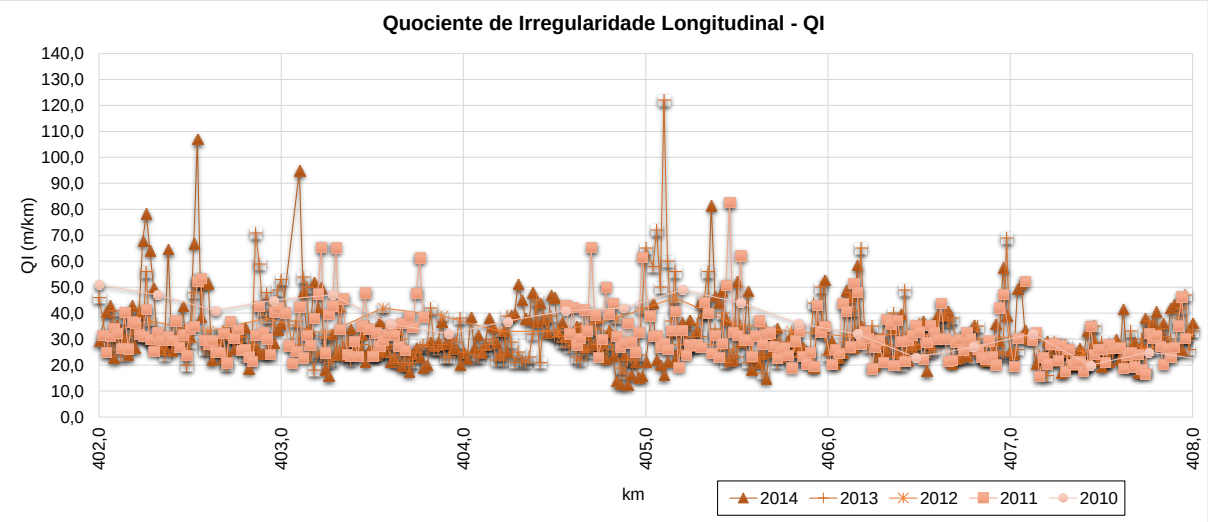


Figura 27: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 405 (pista norte)

404 405,1 DECRESCENTE

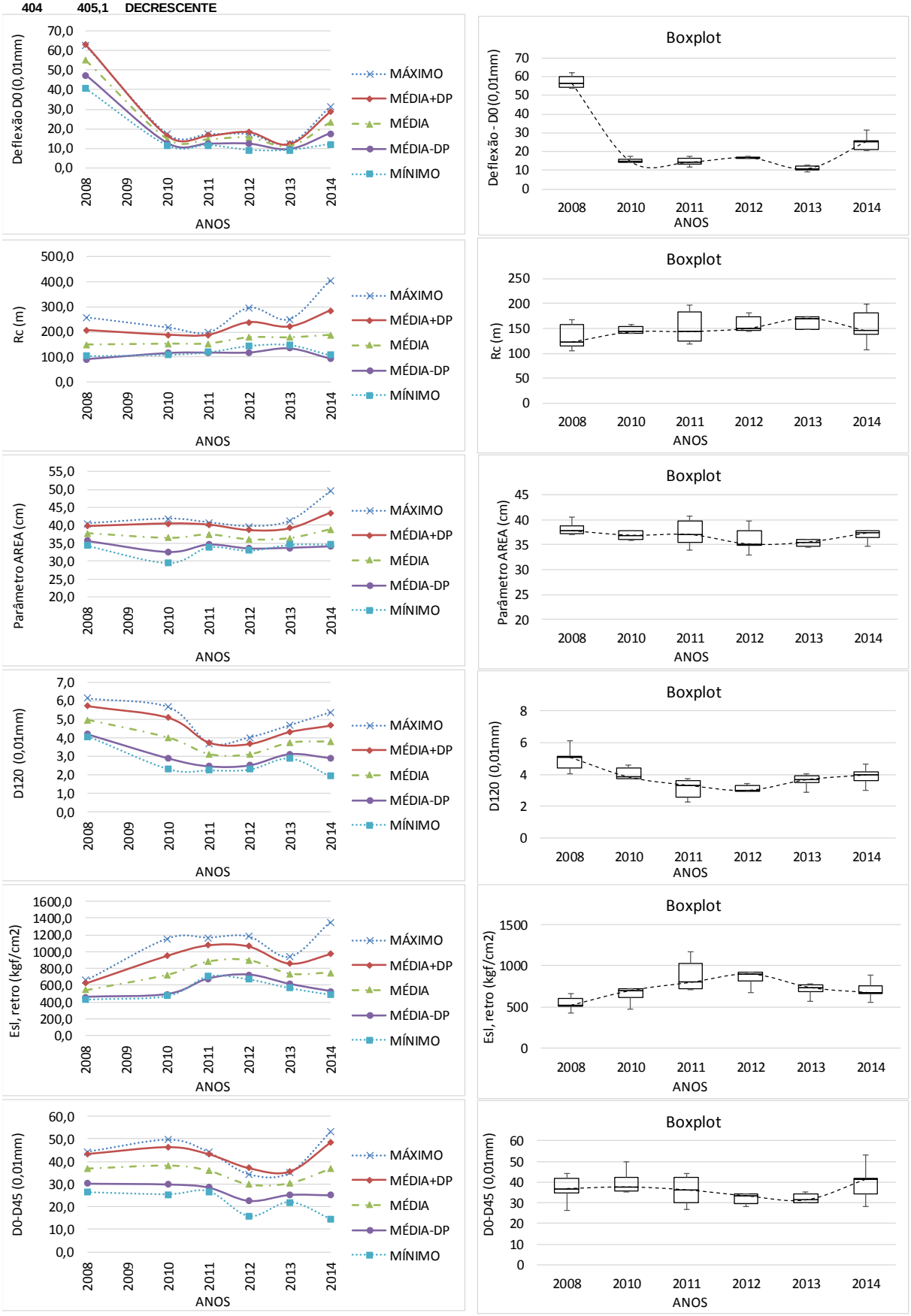


Figura 28: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 405)

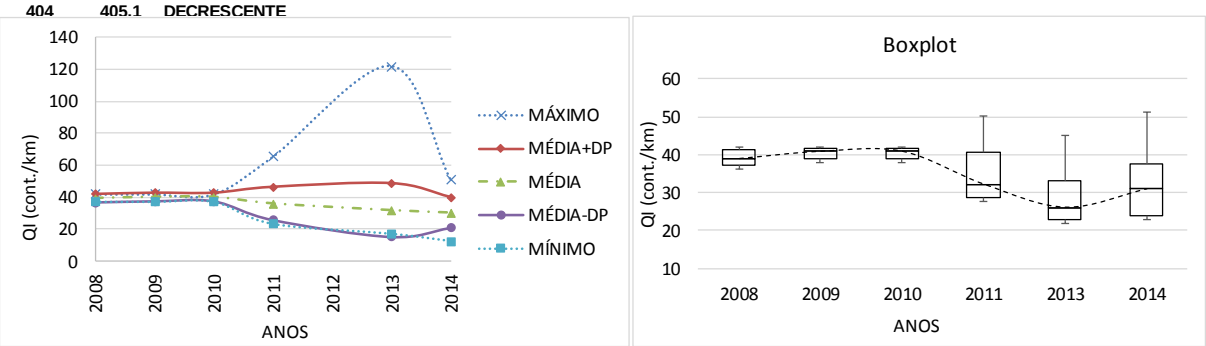


Figura 29: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 405)

8.3. Poço de inspeção do km 414 (Pista Sul)

A Figura 30 e Figura 31 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 414 (pista sul) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se uma região de gnaisse.

A Tabela 15 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento.

A Tabela 16 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Este pavimento foi identificado como pavimento do tipo flexível com base betuminosa e sub-base de solo-brita.

A Tabela 17 e Tabela 18 apresentam os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito e camada de base granular. Enquanto a Figura 32 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que o material no campo está em densidade parecida com a densidade máxima relativa a energia intermediária, porém teor de umidade sensivelmente inferior à umidade ótima.

A Figura 33 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 34 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito para duas situações históricas distintas, ilustrando as variações de comportamento do subleito registradas através dos ensaios com FWD.

A Tabela 19 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 35 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo medido em laboratório e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade ótima e densidade máxima relativos à energia intermediária de compactação.

Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Carmichael & Stuart (1985) e Rada & Witczak (1981).

A Figura 36 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade e densidade verificadas em campo no momento da abertura do poço de inspeção. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Malla & Joshi (2006), e AASHTO/2002 (ME-PDG).

A Figura 37 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma convergência maior para o modelo de Rada & Witczak (1981) e Takeda (2006).

A Figura 38 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 39 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 40 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 41 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

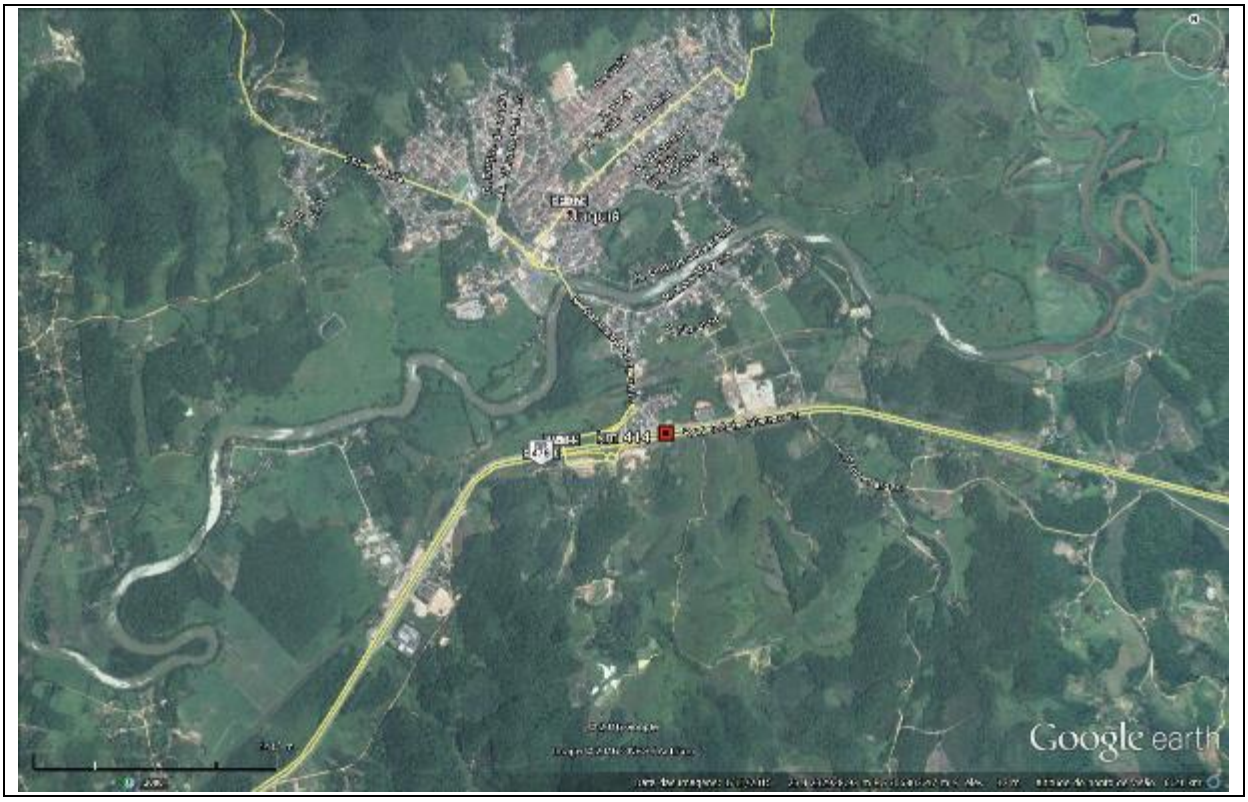
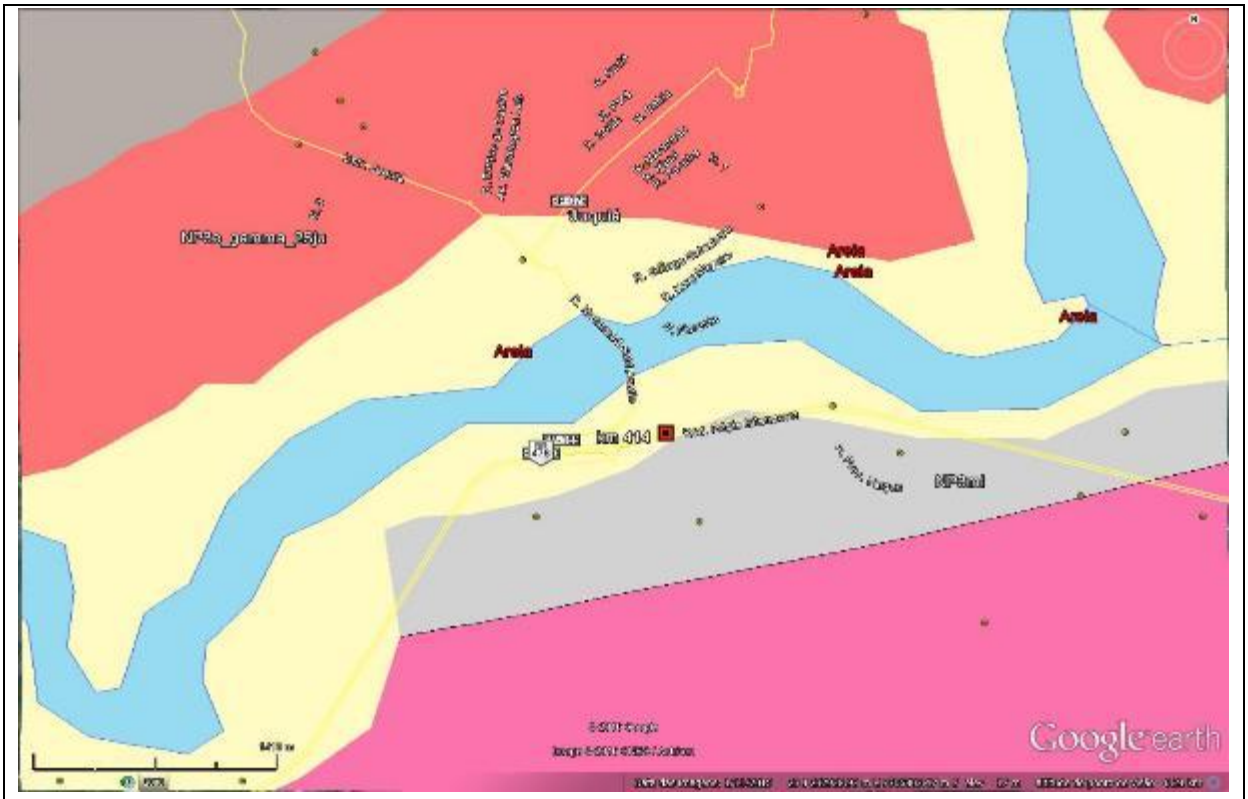


Figura 30: Localização do ponto sondado – km 414 (Pista Sul)
Fonte: Geobank/Google Earth®



LEGENDA:

- Xistos, localmente migmatíticos: Xisto
- Granito Juquiá: Monzogranito
- Rochas miloníticas: Protomilonito, Milonito, Ultramilonito
- Atuba, Gnaisse Itapeúna: Gnaisse, Biotita monzogranito, Diorito, Granito gnaisse
- Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho
- Afloramentos

Figura 31: Mapa Geológico do local sondado – km 414 (Pista Sul)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 15: histórico de intervenções informado - km 414 (pista sul)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Intervenção
414,000	412,980	415,000	MICROREVESTIMENTO	4,10	1,00	19/08/2010

Tabela 16: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 414 (pista sul)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
414	Sul	1	11,0	CA
		2	27,0	BASE BETUMINOSA
		3	40,0	SOLO-BRITA
		4	-	SL

Tabela 17: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

Resumo											
km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
402	BGS	34	67	51	13	26	336	663	477	130	27
402	SL	34	67	45	14	31	336	669	537	140	26

Tabela 18: Estatística dos resultados de determinação do módulo da camada de BGS

Resumo						
km	Material	$E_{sb,retro}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
402	BGS	849	2.697	1.601	738	46

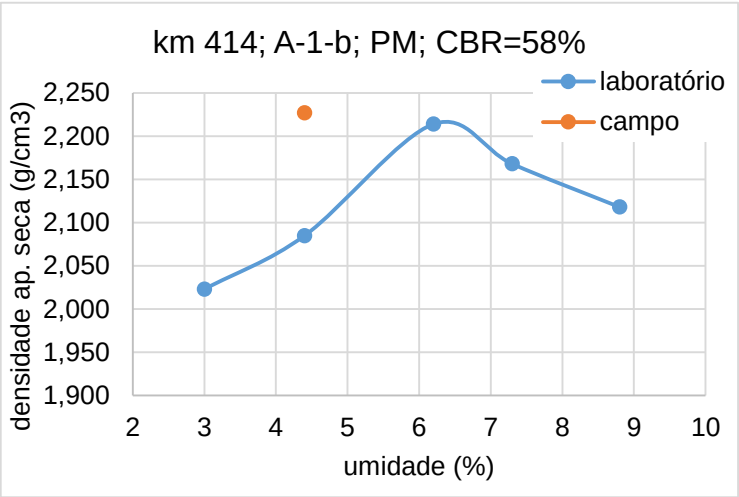
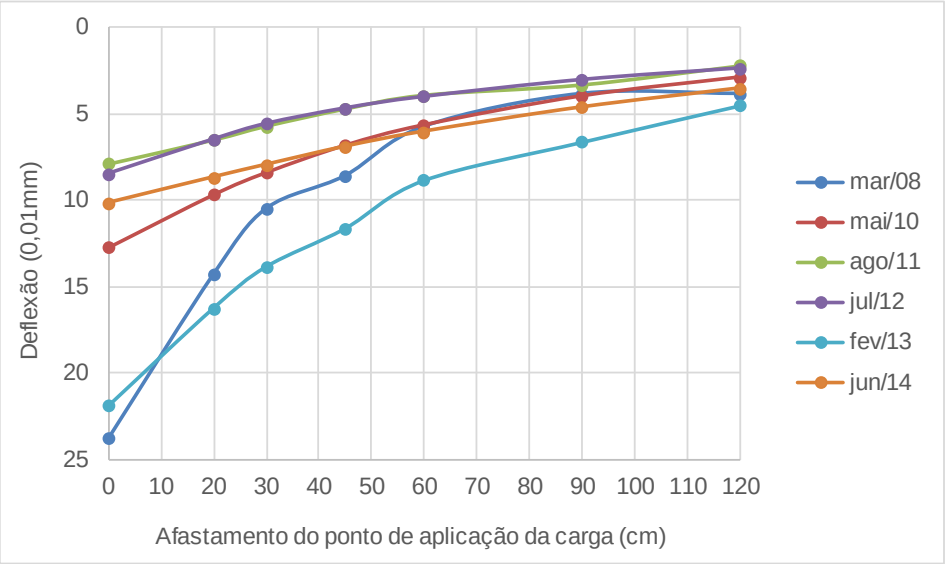


Figura 32: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 414, sul)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esb (kgf/cm2)	Esl (kgf/cm²)	Esl x 0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO/ 93)
Espessuras (cm)			11,0	27,0	40,0	-	-	-
Materiais			CA	BASE BETUM.	SOLO-BRITA	SL	SL	SL
mar/08	-	-	10.100	7.140	3.950	2.750	908	708
mai/10	35	35	53.000	16.000	3.500	3.400	1.122	943
ago/11	19	23	81.600	35.700	4.700	4.000	1.320	1.165
jul/12	25	28	80.100	30.000	5.600	4.100	1.353	1.070
fev/13	34	38	26.000	8.240	2.400	2.240	739	597
jun/14	14	17	83.250	28.000	4.100	2.800	924	769

Figura 33: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 414 (pista sul)

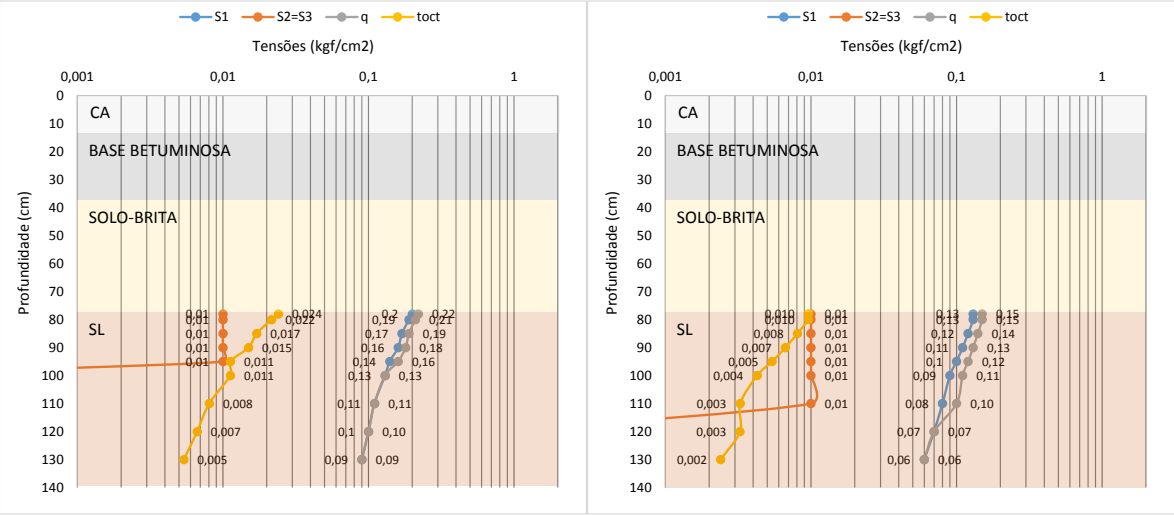


Figura 34: Tensões no subleito calculadas para (a) fev/2013 e (b) jun/2014

Tabela 19: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 414

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm
1a	**BR-116**	**414,0**	SUL	Cascalho	6,2	-	2,214	M	745	0,531	-	545	0,396	-	772
1b	**BR-116**	**414,0**	SUL	Cascalho	6,2	-	2,214	M	711	0,509	-	482	0,348	-	811
1c	**BR-116**	**414,0**	SUL	Cascalho	6,2	7,7	2,214	M	814	0,586	-	515	0,397	-	668
1d	**BR-116**	**414,0**	SUL	Cascalho	6,2	4,2	2,214	M	596	0,092	-	535	0,051	-	4.024

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	**BR-116**	**414,0**	SUL	Cascalho	100	100	100	100	97	95	93	78	29	18	15			0,0	0,0	0	A-1-b

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	**BR-116**	**414,0**	SUL	Cascalho	M	2,214	6,2	58	0,0	**ND**	**ND**	4,5	2,325

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm3)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	**BR-116**	**414,0**	SUL	Cascalho	15	14	49	15	7	2,60	17,4	92,5	67,1

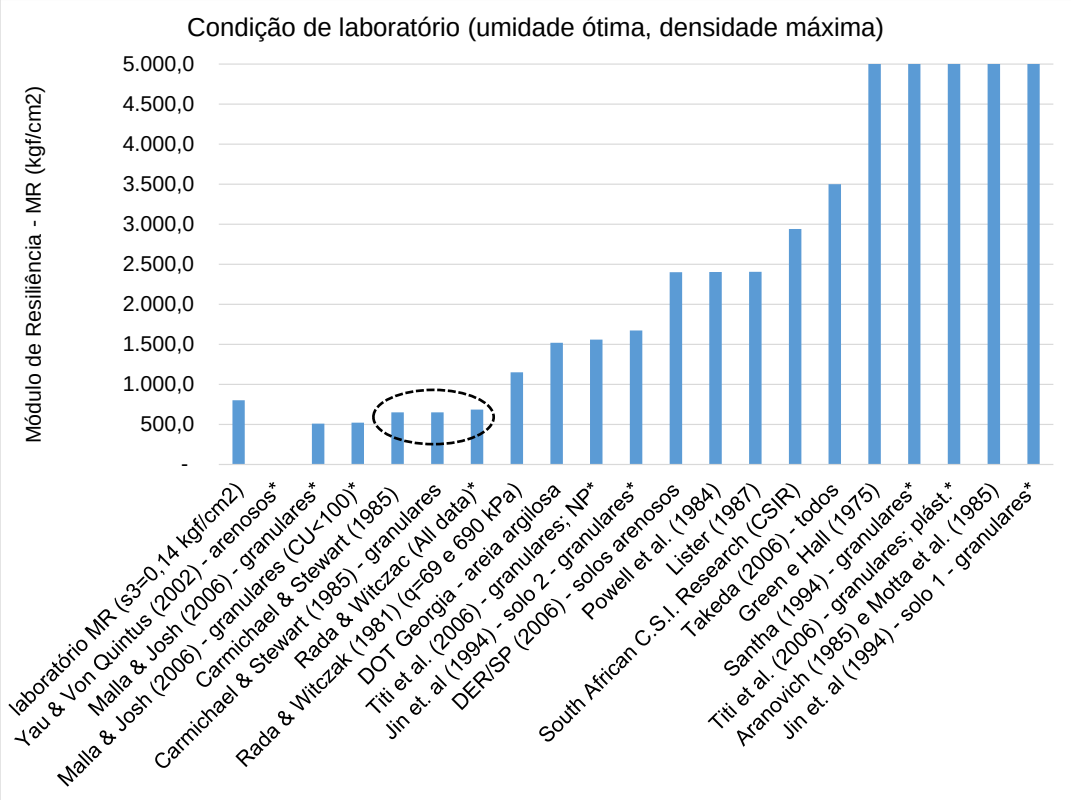


Figura 35: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

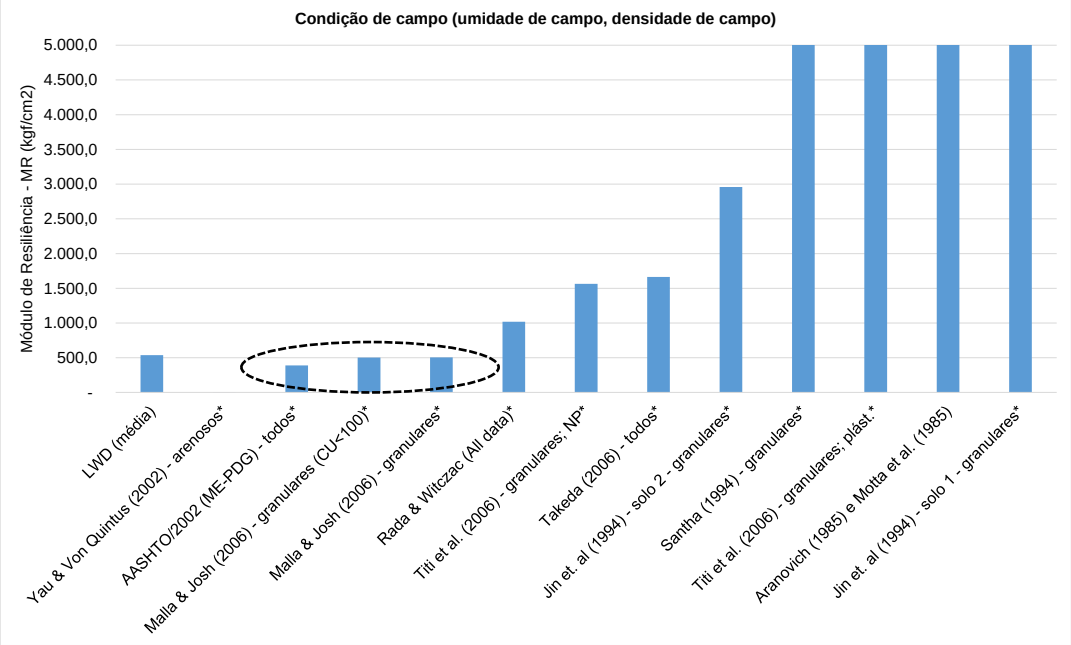


Figura 36: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

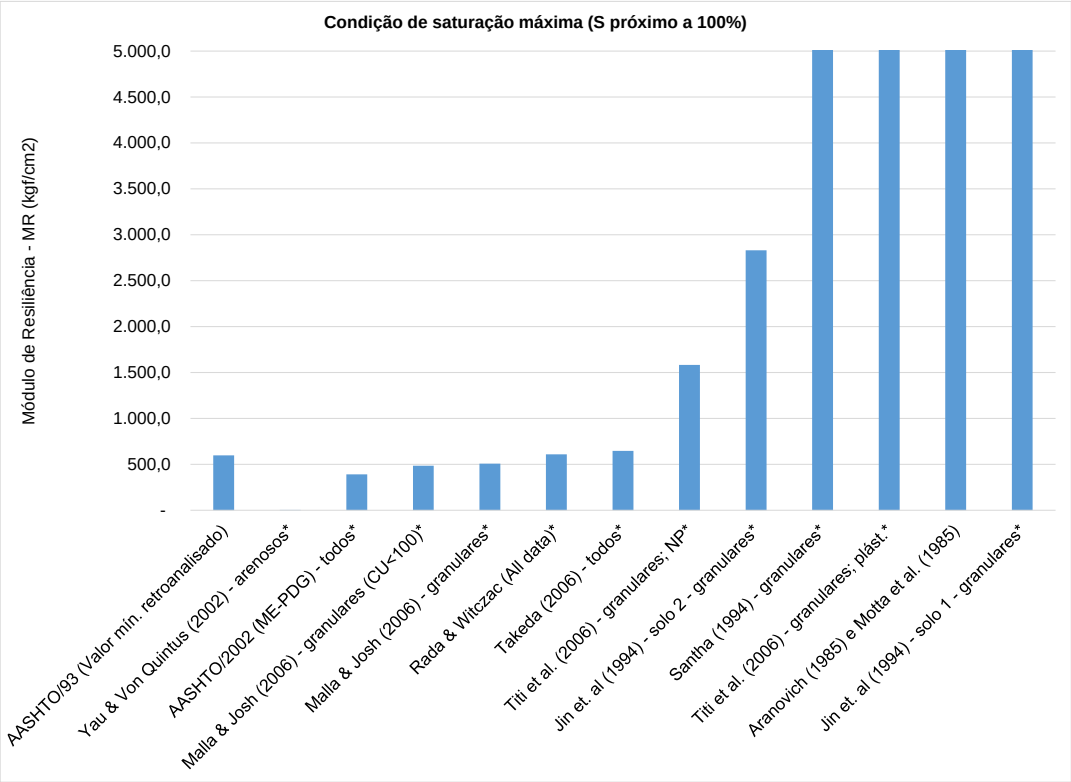
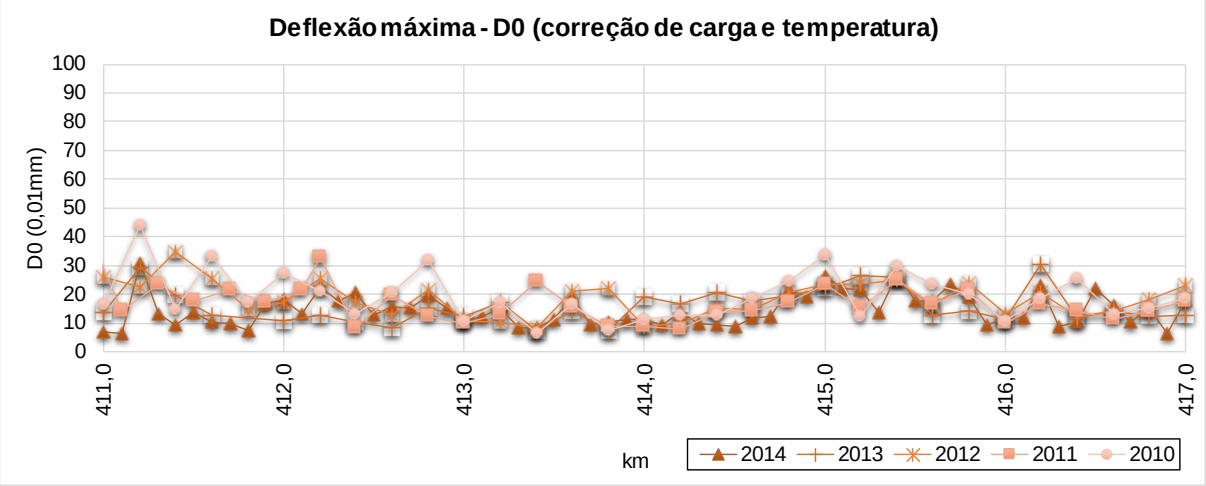
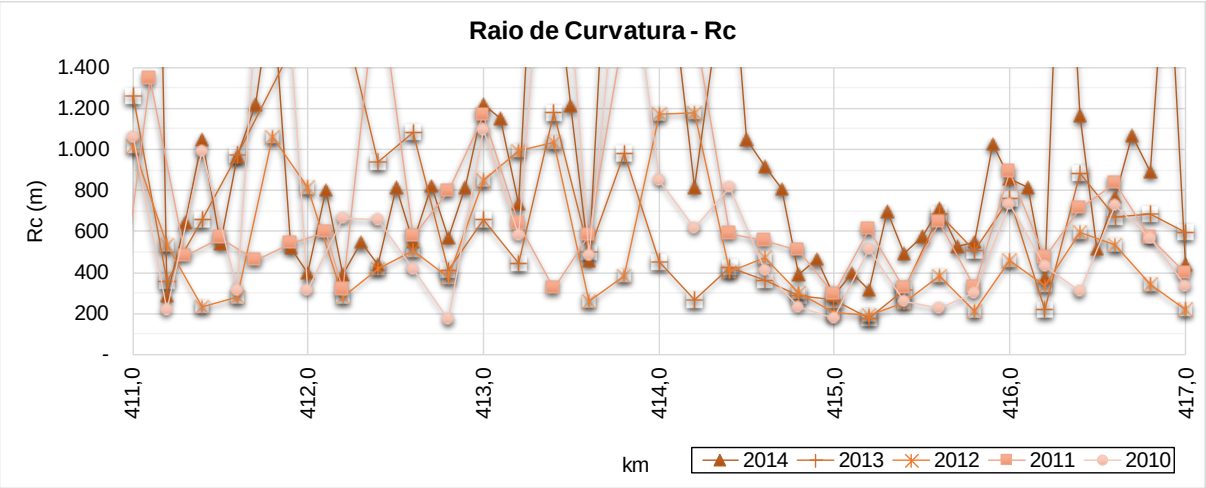


Figura 37: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





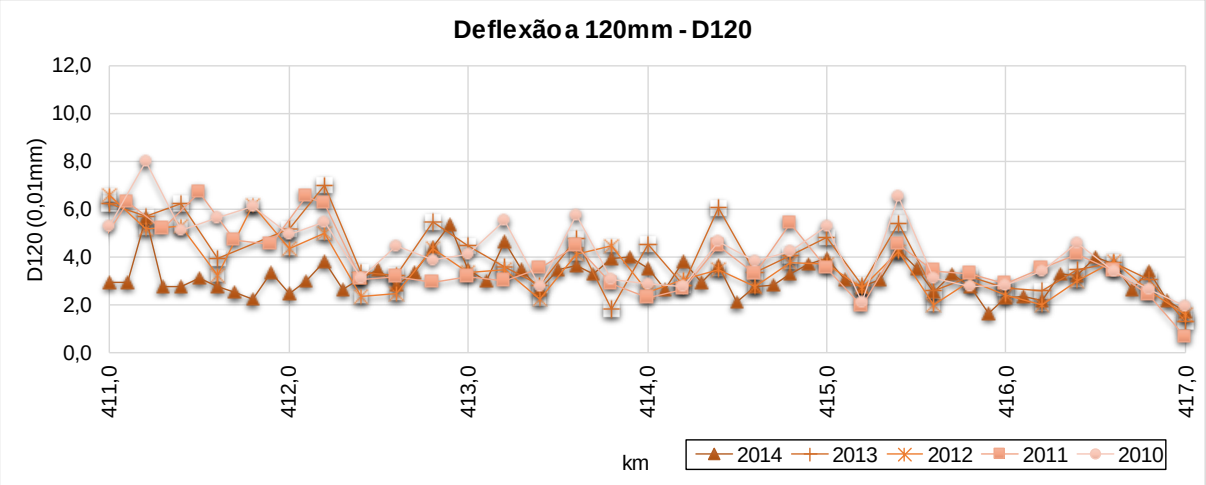
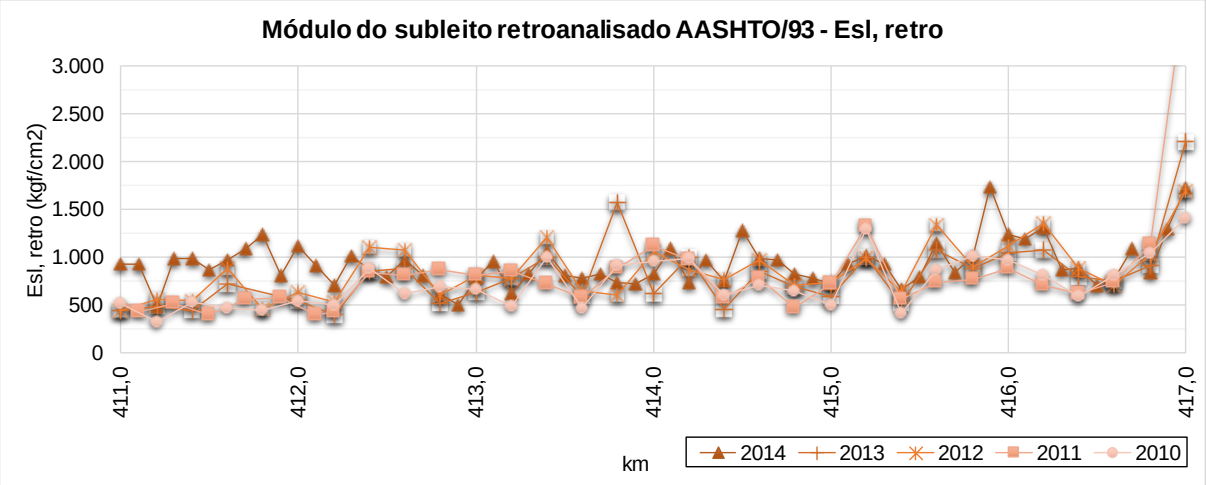


Figura 38: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 414 (pista sul)



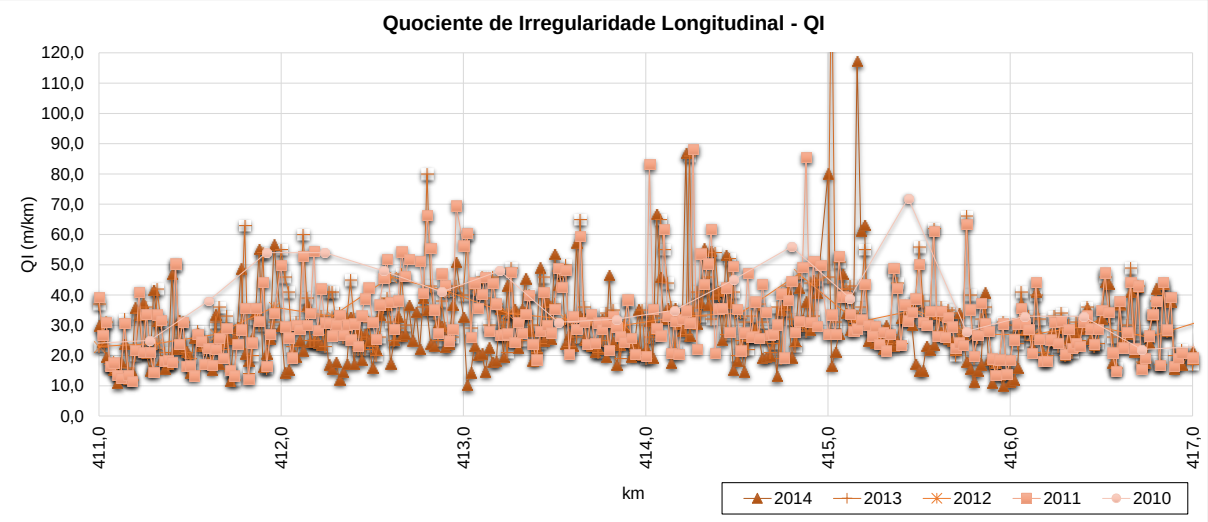


Figura 39: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 414 (pista sul)

413,5 414,5 CRESCENTE

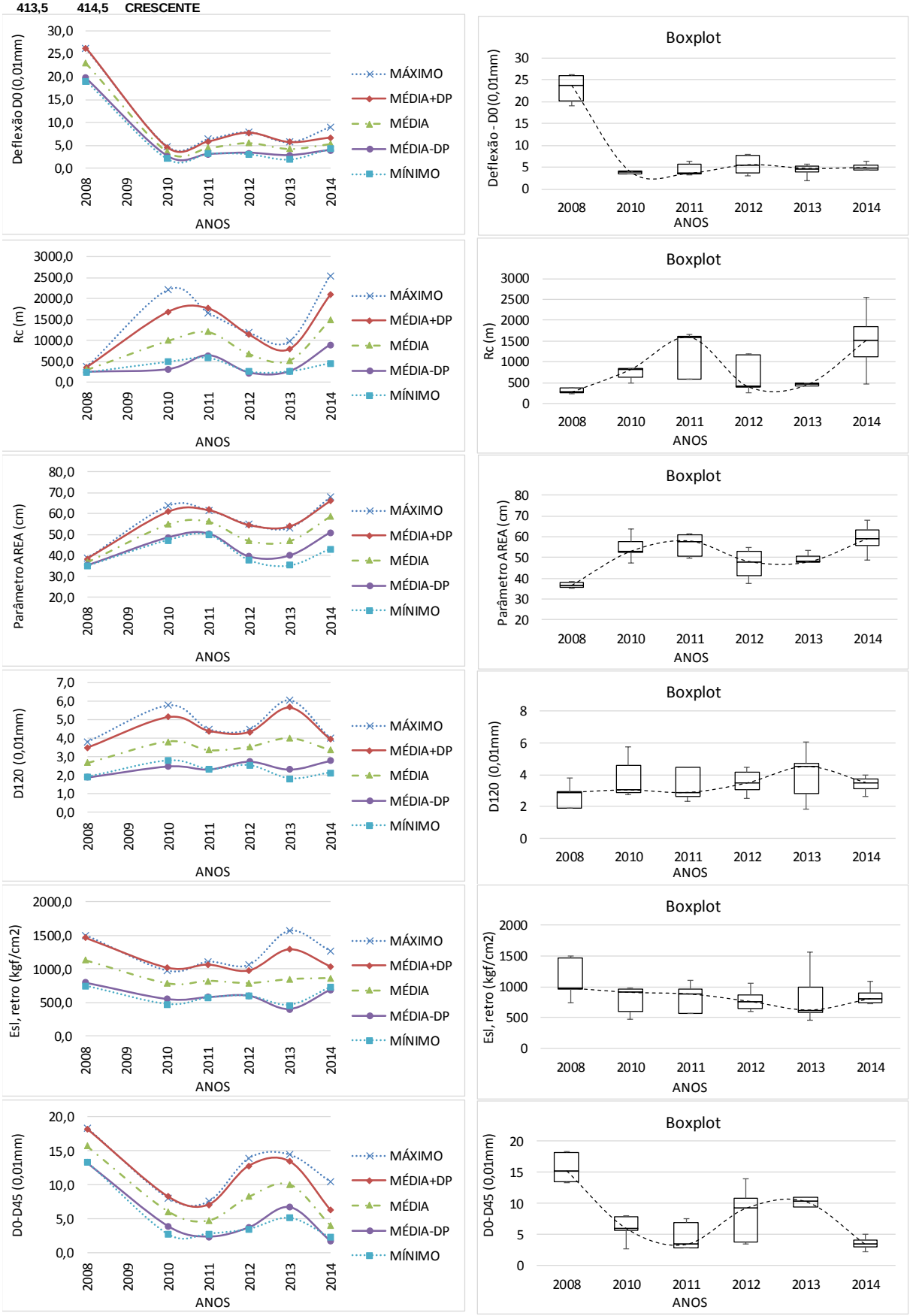


Figura 40: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 414)

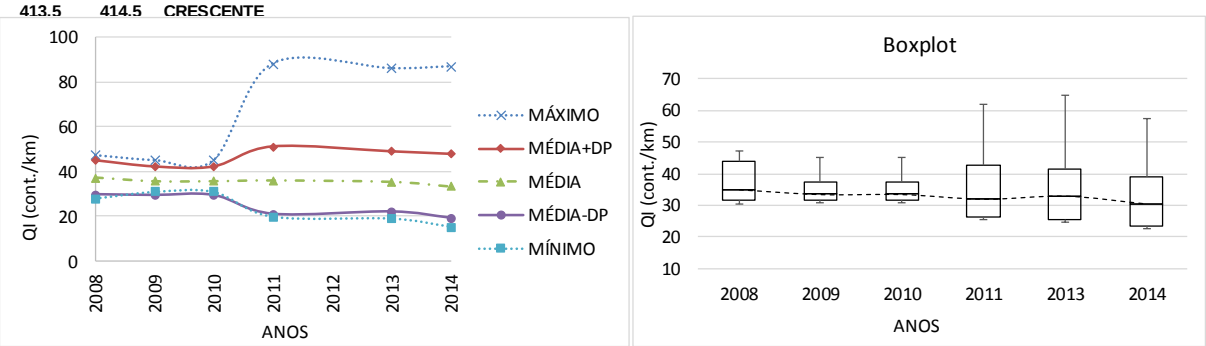


Figura 41: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 414)

8.4. Poço de inspeção do km 418 (Pista Norte)

A Figura 42 e Figura 43 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 418 (pista norte) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se uma região com predominância de depósitos de areia e cascalho.

A Tabela 20 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento. Verifica-se que o pavimento sofreu uma intervenção de reciclagem de base com emprego de emulsão asfáltica no ano de 2009.

A Tabela 21 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Este pavimento foi identificado como pavimento do tipo flexível com base betuminosa e sub-base granular.

A Tabela 22 e Tabela 23 apresentam os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito e camada de base granular. Enquanto a Figura 44 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que o material no campo está com densidade acima da densidade máxima relativa à energia intermediária e umidade ligeiramente inferior à ótima. Infere-se que o material tenha sido compactado na energia modificada.

A Figura 45 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 46 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito, ilustrando o comportamento do subleito registrado através dos ensaios com FWD.

A Tabela 24 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 47 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo medido em laboratório e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade ótima e densidade máxima relativos à energia intermediária de compactação. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Rada & Witczak (1981) e Jin et al. (1994).

A Figura 48 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade e densidade verificadas em campo no momento da abertura do poço de inspeção. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Malla & Joshi – materiais granulares (2006), e AASHTO/2002 (ME-PDG).

A Figura 49 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma convergência maior para o modelo da AASHTO/2002 e Malla & Joshi (2006).

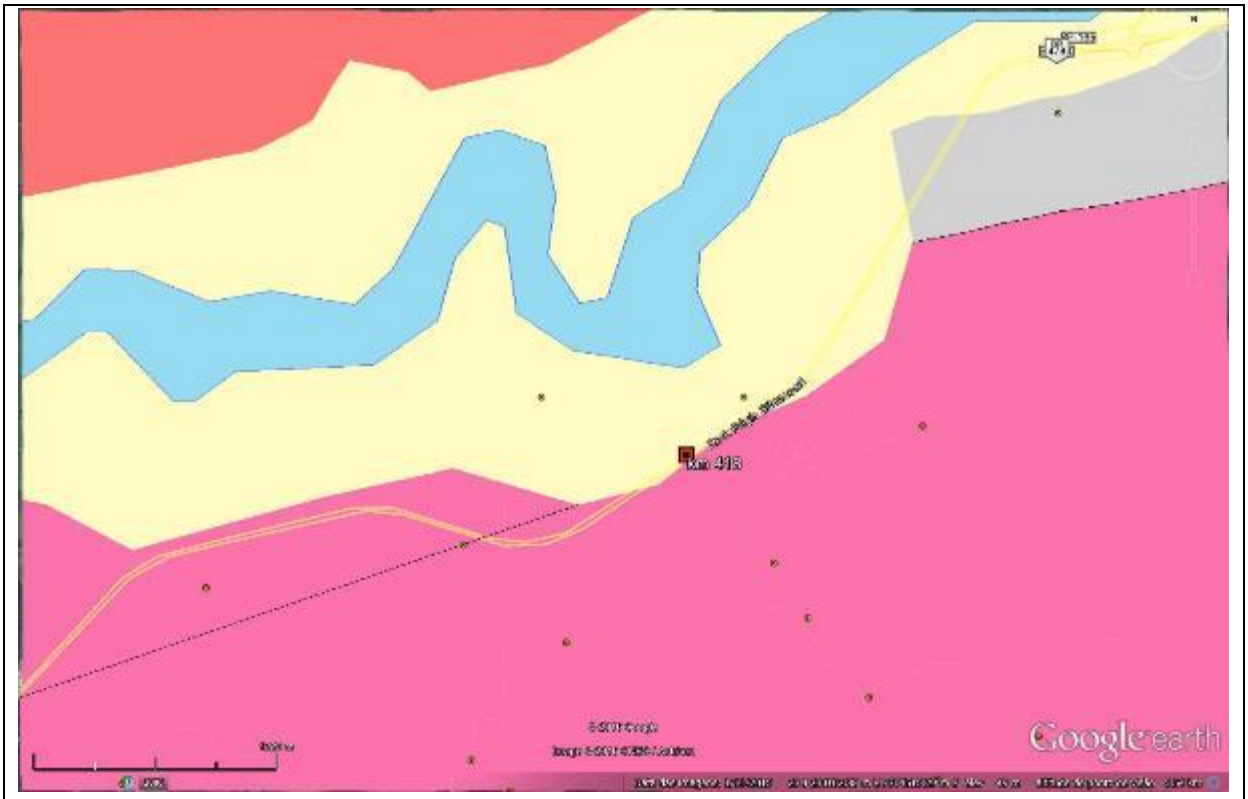
A Figura 50 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 51 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 52 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 53 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

Figura 42: Localização do ponto sondado – km 418 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®



LEGENDA:

- Xistos, localmente migmatíticos: Xisto
- Granito Juquiá: Monzogranito
- Rochas miloníticas: Protomilonito, Milonito, Ultramilonito
- Atuba, Gnaisse Itapeúna: Gnaisse, Biotita monzogranito, Diorito, Granito gnaisse
- Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho
- Afloramentos

Figura 43: Mapa Geológico do local sondado – km 418 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 20: histórico de intervenções informado - km 418 (pista norte)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Interv.
418	417,870	418,720	RECICLAGEM DE PAV. ASF. COM EMULSÃO ESP.	3,80	10,00	27/04/2009
	417,012	419,098	MICROREVESTIMENTO	4,10	1,20	19/05/2009
	417,754	418,169	REFORÇO DE PAVIMENTO COM ASFALTO BORR	3,60	6,00	23/06/2010
	417,962	419,044	REFORÇO DE PAVIMENTO COM ASFALTO BORR	3,60	4,80	30/06/2010

Tabela 21: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 418 (pista norte)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
418	Norte	1	14,0	CA
		2	10,0	RAP C/ EMULSÃO
		3	25,0	BGS
		4	-	SL

Tabela 22: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
418	BGS	24	83	37	16	42	273	949	684	212	31
418	SL	30	97	54	28	52	234	758	524	210	40

Tabela 23: Estatística dos resultados de determinação do módulo da camada de BGS

km	Material	$E_{sb,retro}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
418	BGS	564	2.644	1.674	709	42

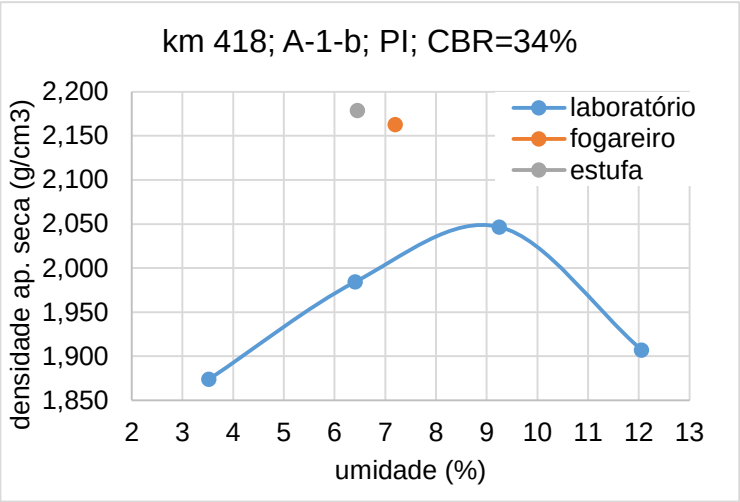
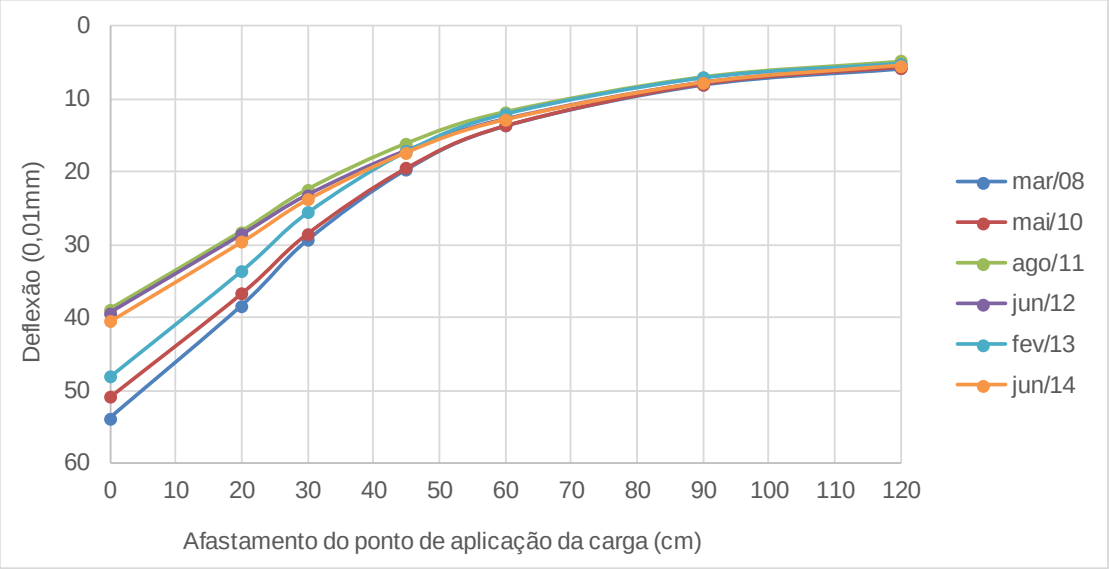


Figura 44: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 418, norte)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Er2 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esl (kgf/cm²)	Esl x 0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO /93)
Espessuras (cm)			**14,0**	**10,0**	**25,0**	**-**	**-**	**-**
Materiais			**CA**	**RAP C/ EMULSÃO**	**BGS**	**SL**	**SL**	**SL**
mar/08	-	-	16.000	700	1.300	1.500	495	540
mai/10	28	37	16.000	1.300	1.000	1.500	495	505
ago/11	22	28	16.000	5.000	1.000	1.800	594	609
jun/12	21	25	15.000	7.300	1.000	1.700	561	573
fev/13	36	42	12.000	2.500	1.000	1.650	545	527
jun/14	19	27	16.000	5.300	1.000	1.650	545	596

Figura 45: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 418 (pista norte)

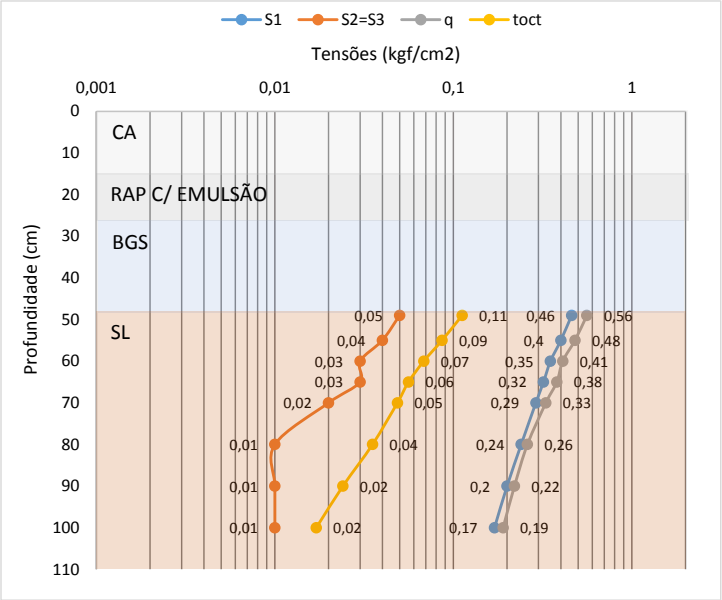


Figura 46: Tensões no subleito calculadas para jun/2014

Tabela 24: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 418

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm²)
1	**BR-116**	**418,0**	NORTE	Subleito	9,3	-	2,070	I	876	0,517	0,96	452	0,362	0,70	964
2	**BR-116**	**418,1**	NORTE	Argila siltosa vermelha	18,0	-	1,514	N	23	-0,510	0,58	33	-0,500	0,83	2.029

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	**BR-116**	**418,0**	NORTE	Subleito							83	72	37		15			0,0	0,0	0	A-1-b
2	**BR-116**	**418,1**	NORTE	Argila siltosa vermelha	100	100	100	100	100	100	99	88	79	73	45	45	12	52,5	19,5	5	A-7-5

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	**BR-116**	**418,0**	NORTE	Subleito	I	2,050	9,0	34	0,0	NG'	**ND**	6,5	2,179
2	**BR-116**	**418,1**	NORTE	Argila siltosa vermelha	N	1,514	18,0	4	4,2	NS'-NG'	**ND**	**ND**	**ND**

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm³)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	**BR-116**	**418,0**	NORTE	Subleito	15	22	35	11	17	2,60	26,8	87,2	62,5
2	**BR-116**	**418,1**	NORTE	Argila siltosa vermelha	45	34	9	12	1	2,60	71,7	65,2	ND

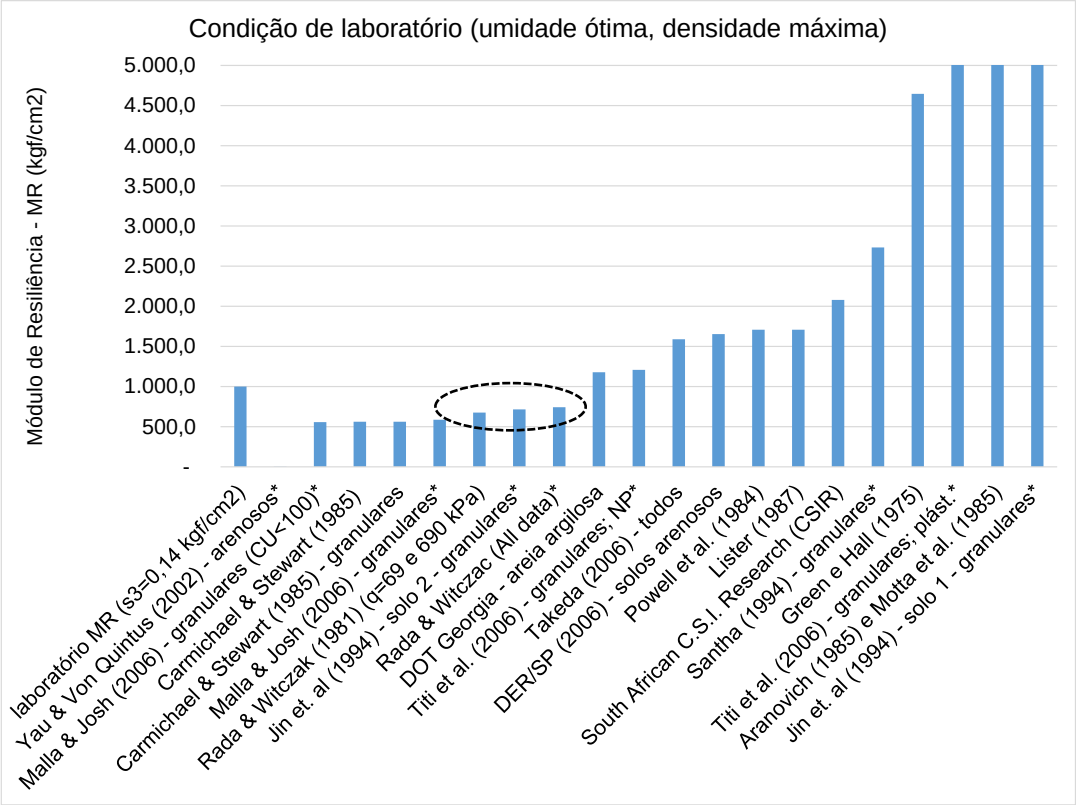


Figura 47: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

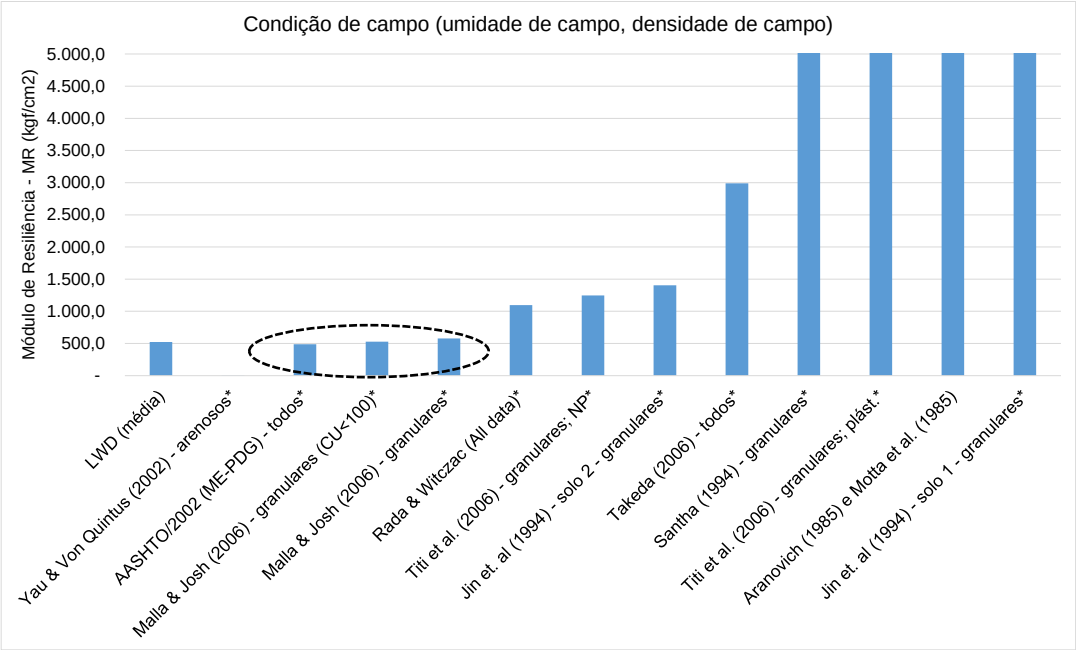


Figura 48: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

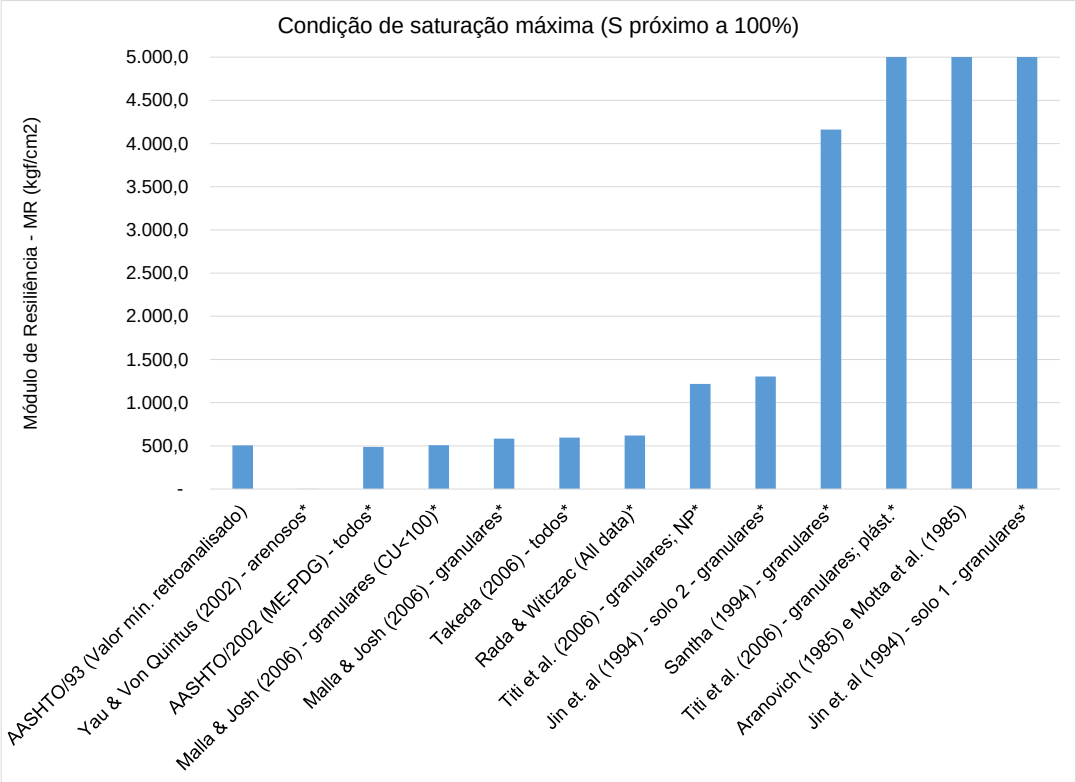
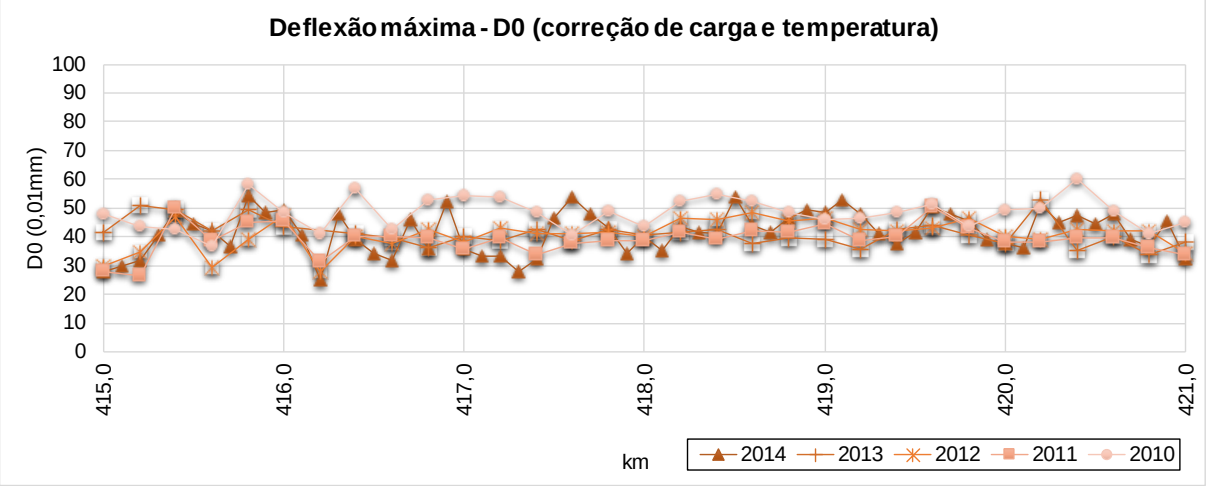
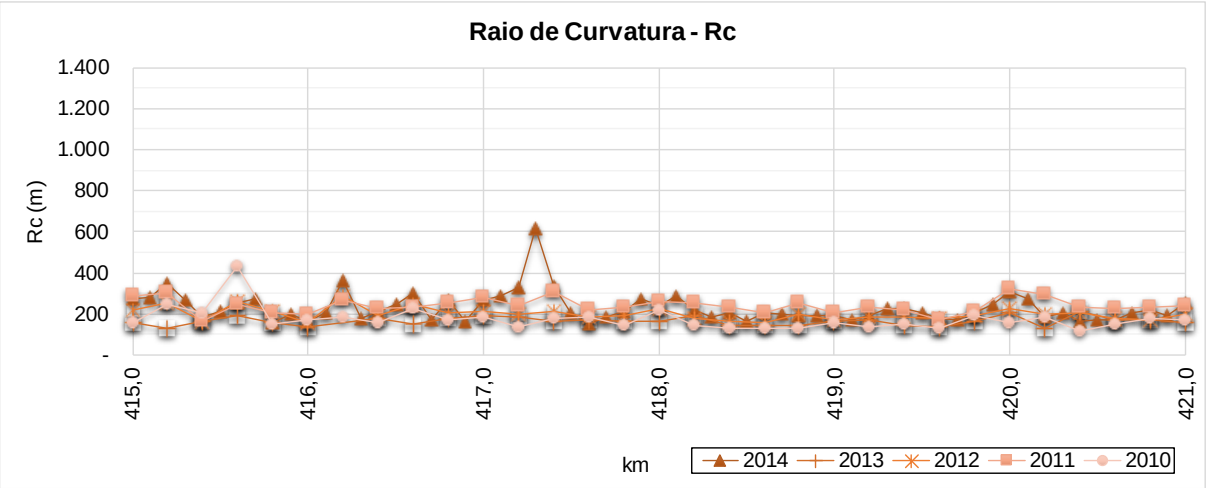


Figura 49: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





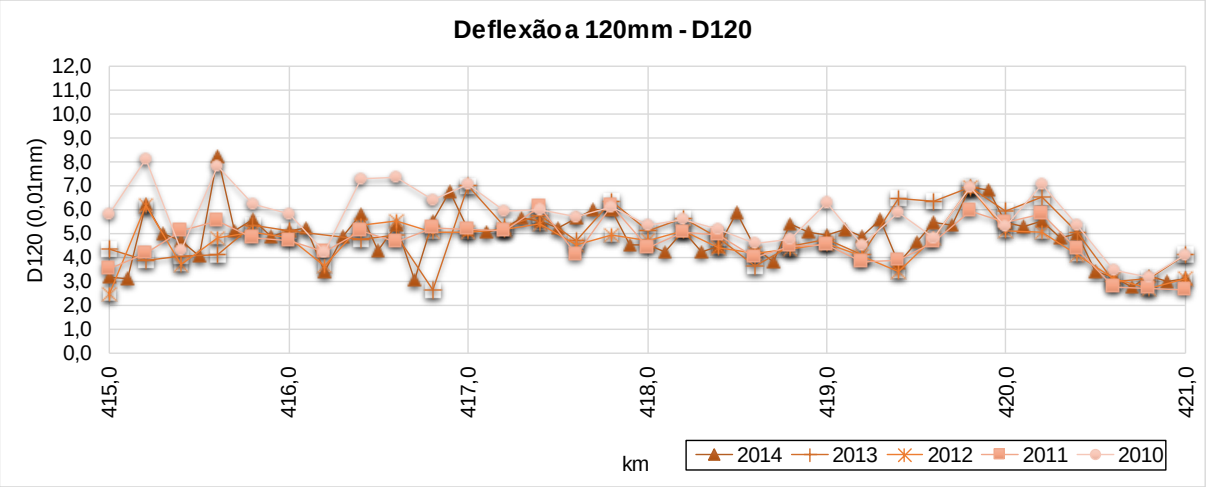
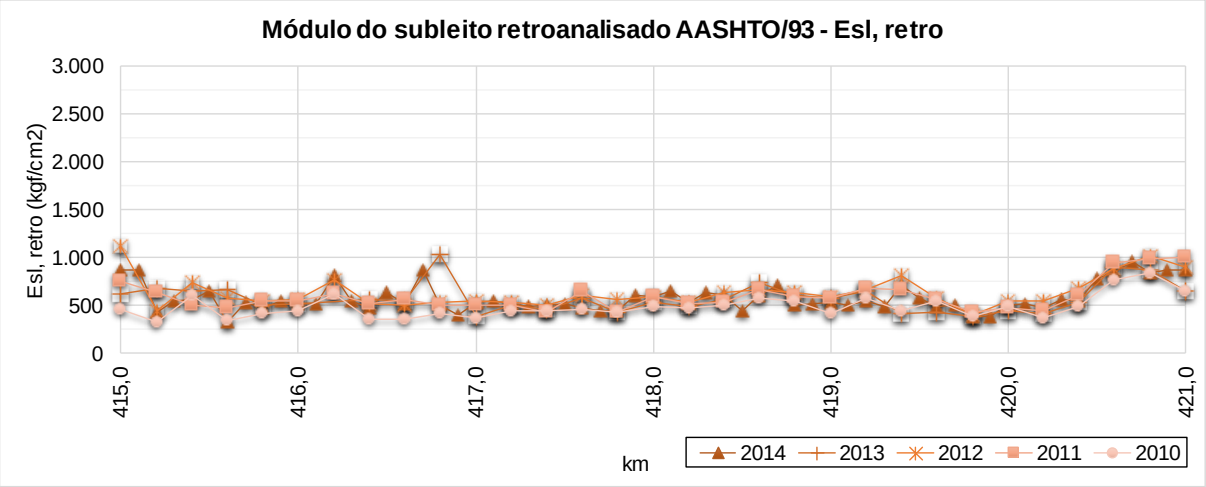


Figura 50: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 418 (pista norte)



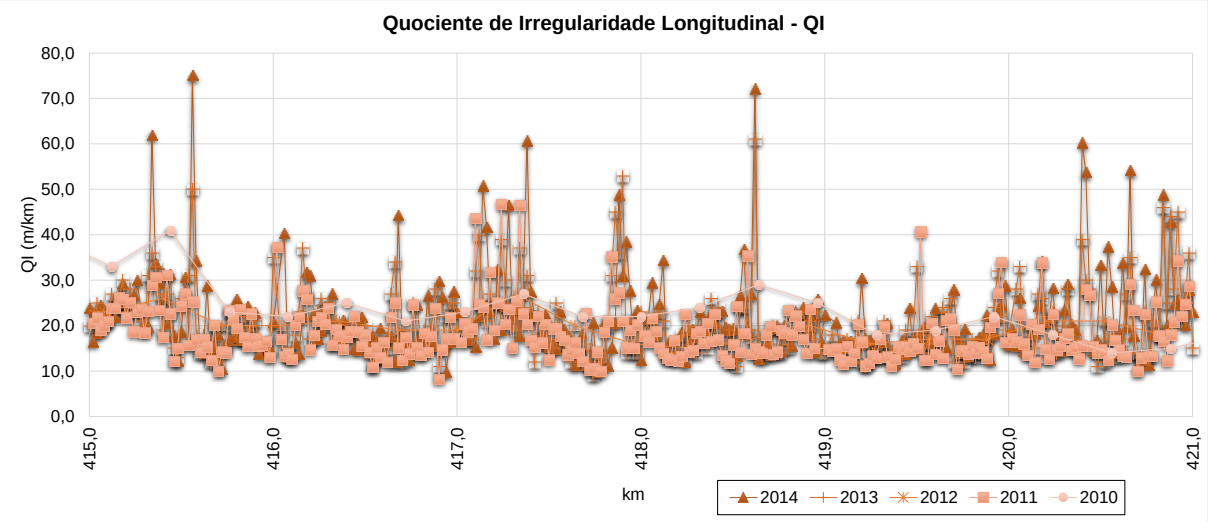


Figura 51: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 418 (pista norte)

417,87 419 DECRESCENTE

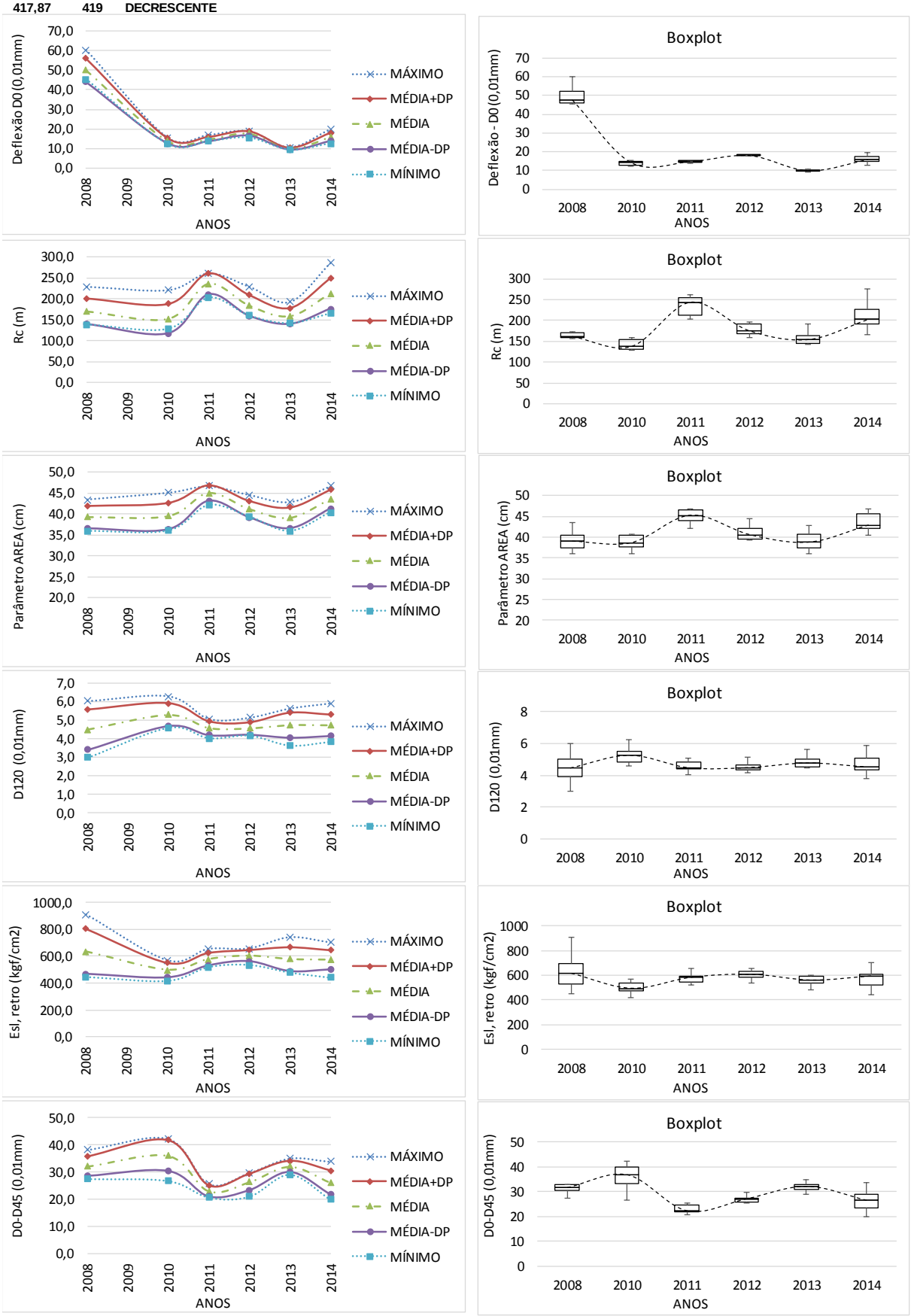


Figura 52: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 418)

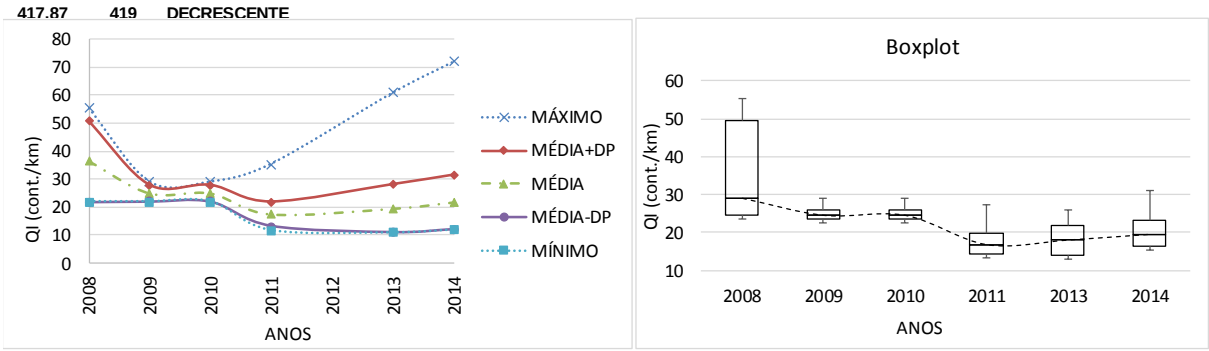


Figura 53: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 418)

8.5. Poço de inspeção do km 423 (Pista Norte)

A Figura 54 e Figura 55 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 423 (pista norte) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se uma região com predominância de gnaisse.

A Tabela 20 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento. Verifica-se que o pavimento sofreu uma intervenção de reciclagem de base com emprego de emulsão asfáltica no ano de 2009.

A Tabela 21 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Este pavimento foi identificado como pavimento do tipo semirrígido com base de BGTC.

A Tabela 22 e Tabela 23 apresentam os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito e camada de base granular. Enquanto a Figura 56 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que o material no campo está com densidade acima da densidade máxima relativa à energia intermediária e umidade sensivelmente inferior à ótima. Infere-se que o material tenha sido compactado na energia modificada.

A Figura 57 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 58 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito para duas situações históricas distintas, ilustrando as variações de comportamento do subleito registradas através dos ensaios com FWD.

A Tabela 24 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 59 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo medido em laboratório e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade ótima e densidade máxima relativos à energia intermediária de compactação. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Carmichael & Stuart (1985), Malla & Josh – granulares (2006) e Rada & Witczak (1981).

A Figura 60 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade e densidade verificadas em campo no momento da abertura do poço de inspeção. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Malla & Joshi – materiais granulares (2006), e AASHTO/2002 (ME-PDG).

A Figura 61 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma convergência maior para o modelo da AASHTO/2002.

A Figura 62 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 63 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 64 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 65 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

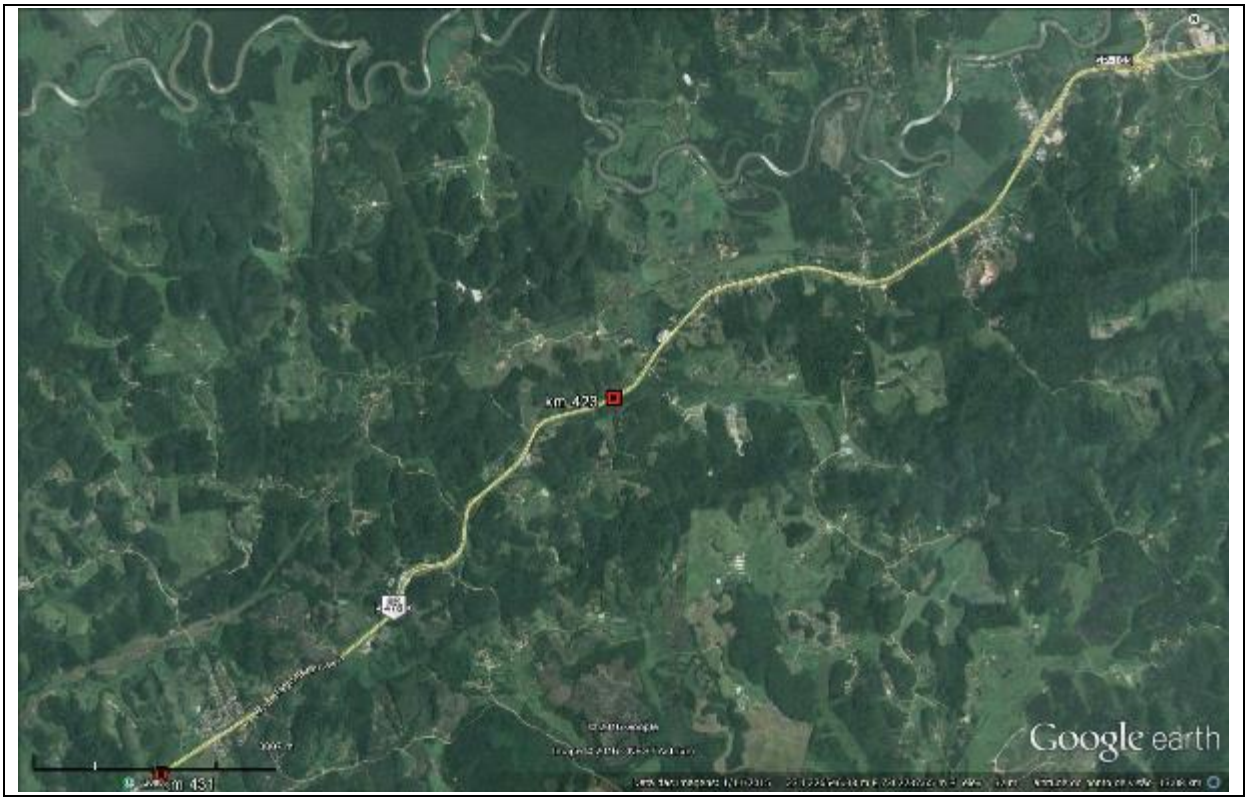


Figura 54: Localização do ponto sondado – km 423 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®

LEGENDA:

- Juquiá: Clinopiroxenito, Nefelina sienito, Olivina clinopiroxenito
- Granito Juquiá: Monzogranito
- Rochas miloníticas: Protomilonito, Milonito, Ultramilonito
- Atuba, Gnaisse Itapeúna: Gnaisse, Biotita monzogranito, Diorito, Granito gnaisse
- Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho
- Afloramentos

Figura 55: Mapa Geológico do local sondado – km 423 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 25: histórico de intervenções informado - km 423 (pista norte)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Interv.
423	422,984	423,051	FRESAGEM FUNCIONAL	3,55	5,01	09/04/2008
	421,900	423,100	RECICLAGEM DE PAV. ASF. COM EMULSÃO ESP. "IN SITU"	3,80	10,00	23/04/2009
	420,557	423,447	MICROREVESTIMENTO	4,10	1,20	07/05/2009
	422,349	423,040	MICROREVESTIMENTO	3,60	1,00	05/12/2011
	423,000	423,014	FRESAGEM ESTRUTURAL	3,80	6,50	16/02/2013
	423,000	423,047	FRESAGEM ESTRUTURAL	3,99	7,00	17/06/2014
	422,830	423,000	FRESAGEM ESTRUTURAL	3,99	7,00	17/06/2014

Tabela 26: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 423 (pista norte)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
423	Norte	1	10,0	CA
		2	20,0	BGTC
		3	20,0	BGS
		4	-	SL

Tabela 27: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
423	BGS	27	48	36	7	20	474	837	653	124	19
423	SL	63	97	80	11	14	234	360	291	41	14

Tabela 28: Estatística dos resultados de determinação do módulo da camada de BGS

km	Material	$E_{sb,retro}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
423	BGS	1.013	2.664	1.783	556	31

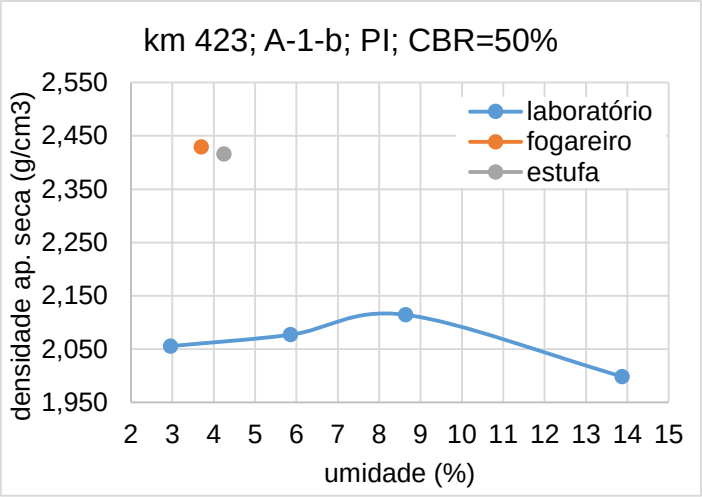
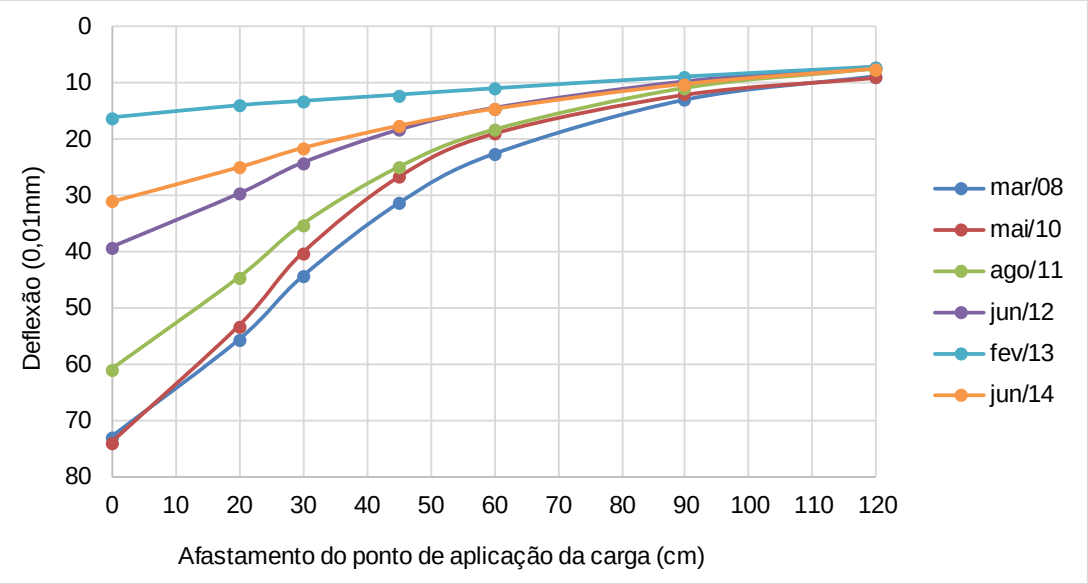


Figura 56: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 423, norte)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esb (kgf/cm²)	Esl (kgf/cm²)	Esl x 0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO/ 93)
Espessuras (cm)			**10,0**	**20,0**	**20,0**	**-**	**-**	**-**
Materiais			**CA**	**BGTC**	**BGS**	**SL**	**SL**	**SL**
mar/08	* Provável estrutura antiga de pavimento flexível							332
mai/10								327
ago/11								410
jun/12	18	20	35.000	4.000	1.500	1.300	429	401
fev/13	36	44	35.000	120.000	2.000	1.400	462	376
jun/14	20	27	40.000	10.000	1.000	1.300	429	381

Figura 57: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 423 (pista norte)

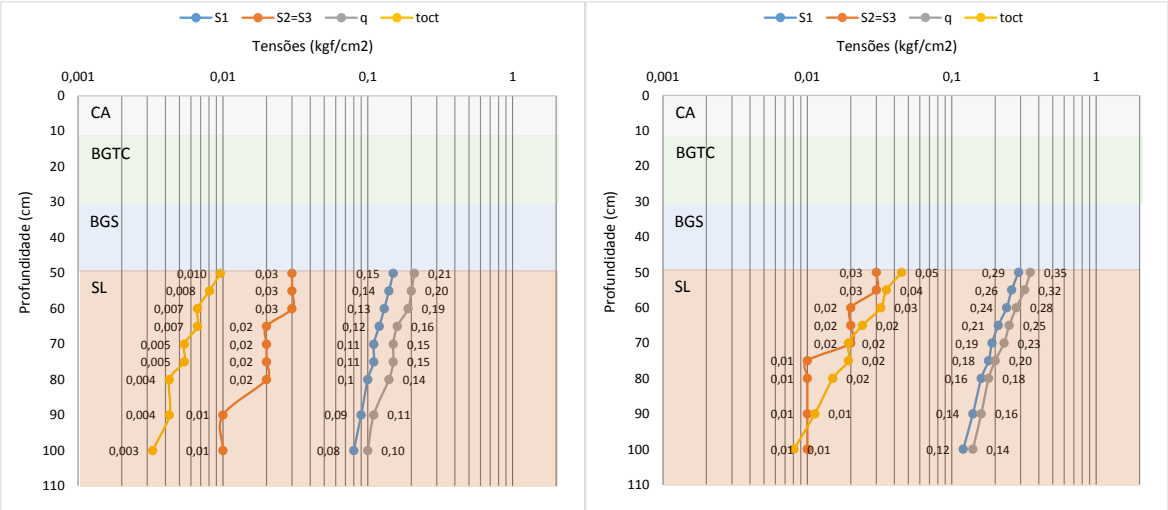


Figura 58: Tensões no subleito calculadas para (a) fev/2013 e (b) jun/2014

Tabela 29: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 423

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm
1	**BR-116**	**423,0**	NORTE	Subleito	8,9	-	2,120	I	1.115	0,627	0,95	542	0,477	0,80	767
2	**BR-116**	**423,5**	NORTE	Silte argiloso rosa	17,5	-	1,684	N	60	-0,090	0,08	55	-0,150	0,32	881

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	**BR-116**	**423,0**	NORTE	Subleito							68	55	31		15			0,0	0,0	0	A-1-b
2	**BR-116**	**423,5**	NORTE	Silte argiloso rosa	100	100	100	100	100	100	99	86	75	71	47	47	10	41,0	14,0	4	A-7-6

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	w ot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	w nat (%)	γnat (g/cm3)
1	**BR-116**	**423,0**	NORTE	Subleito	I	2,110	8,2	50	0,6	NG'	**ND**	4,3	2,416
2	**BR-116**	**423,5**	NORTE	Silte argiloso rosa	N	1,684	17,5	3	4,1	NS'/NA'	**ND**	**ND**	**ND**

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm³)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	**BR-116**	**423,0**	NORTE	Subleito	15	16	24	13	32	2,60	23,2	91,8	47,6
2	**BR-116**	**423,5**	NORTE	Silte argiloso rosa	47	28	10	13	1	2,60	54,4	83,6	ND

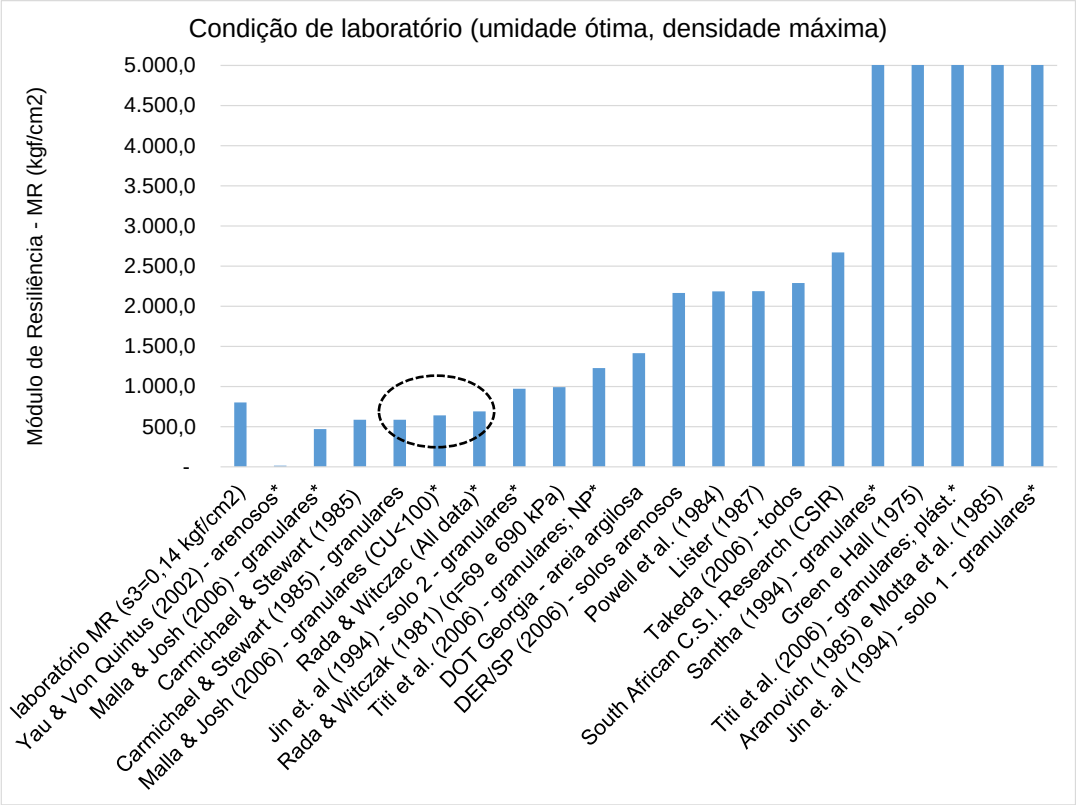


Figura 59: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

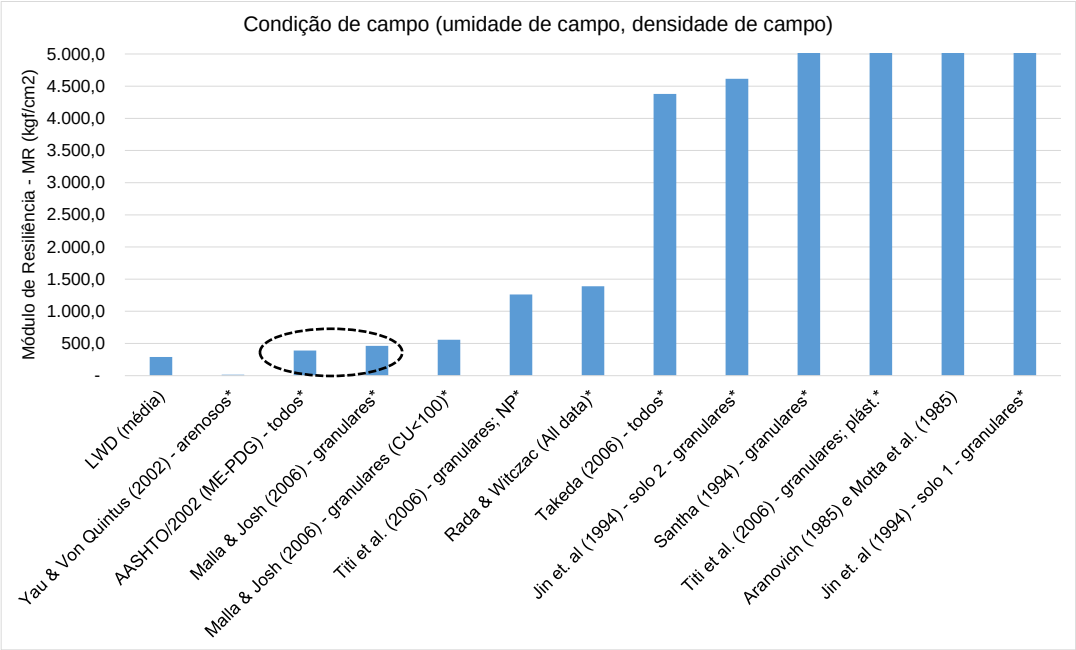


Figura 60: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

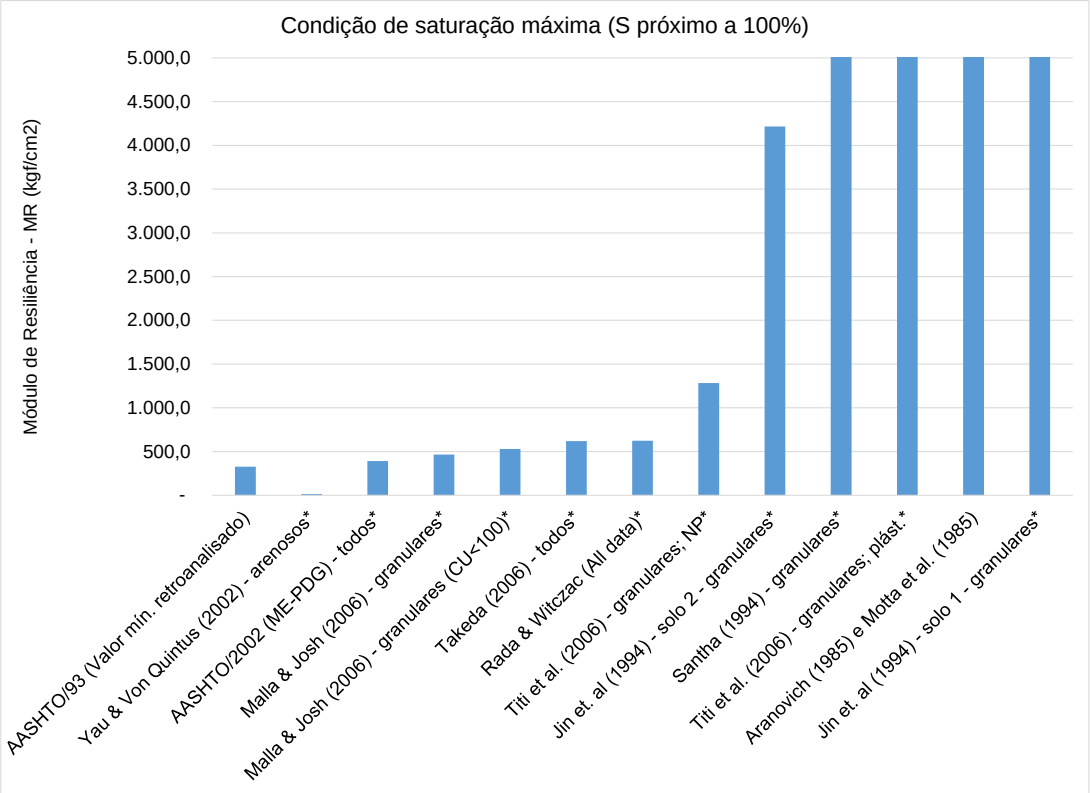
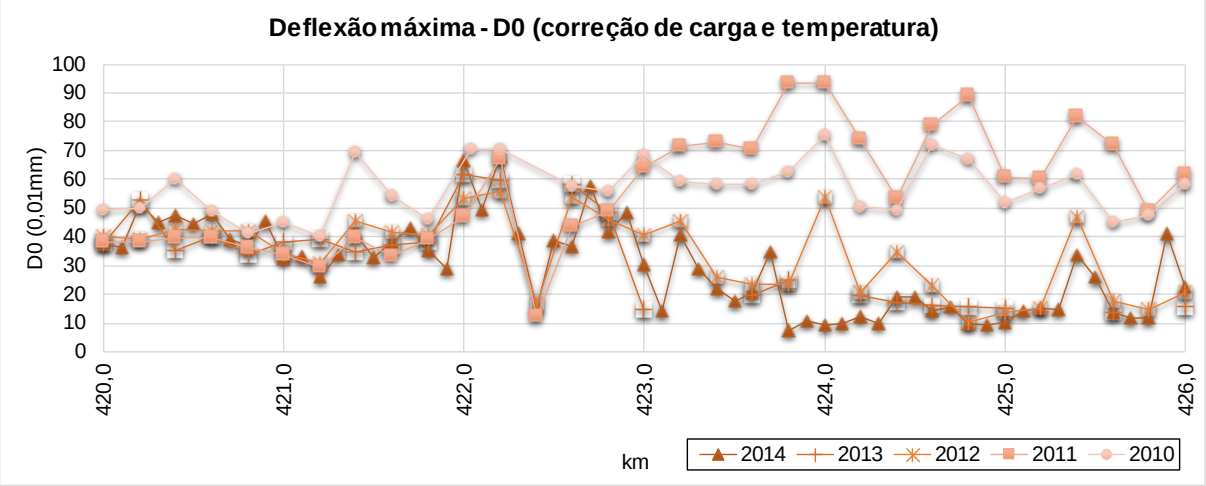
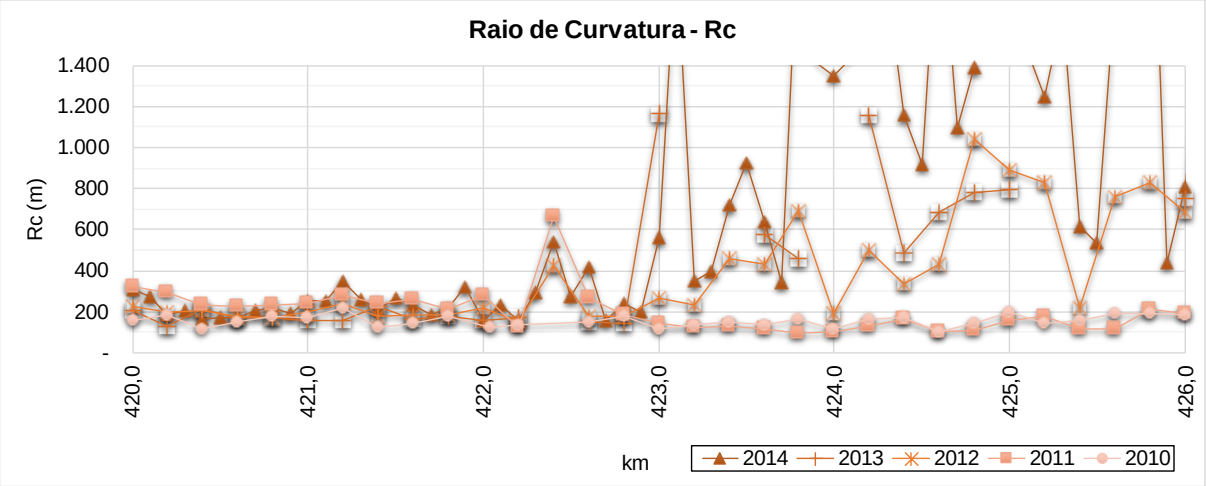


Figura 61: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





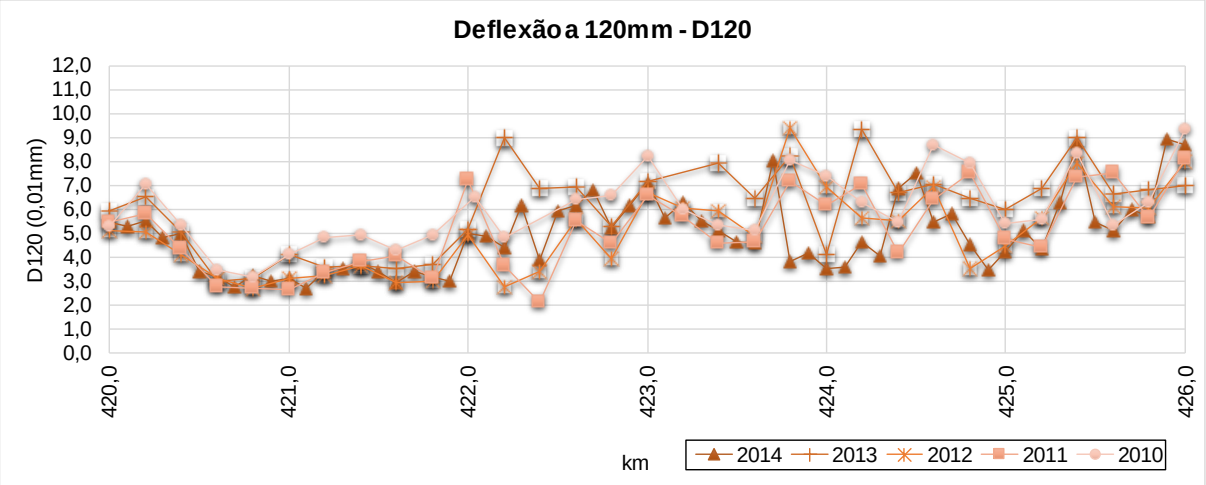
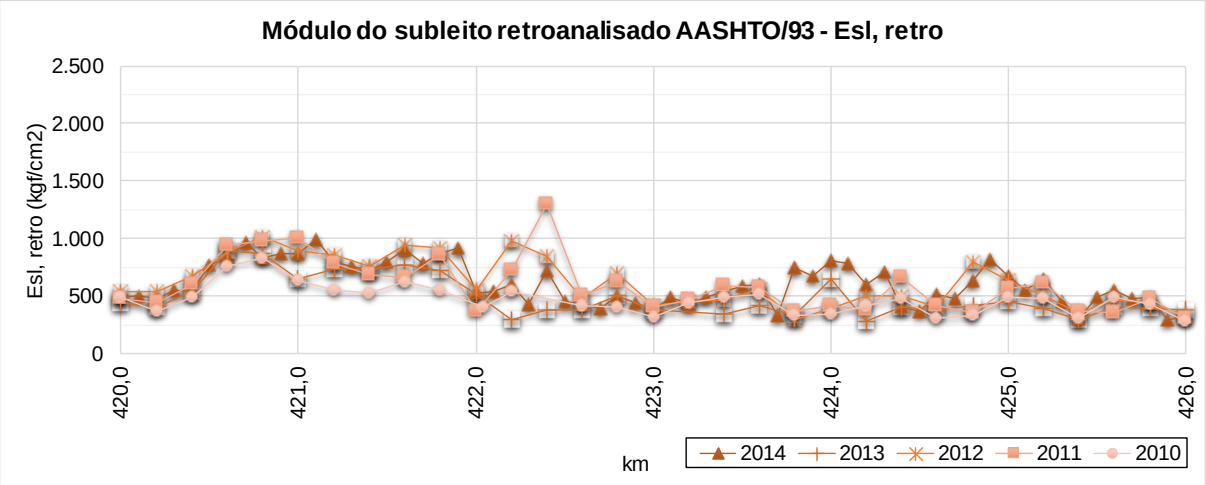


Figura 62: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 423 (pista norte)



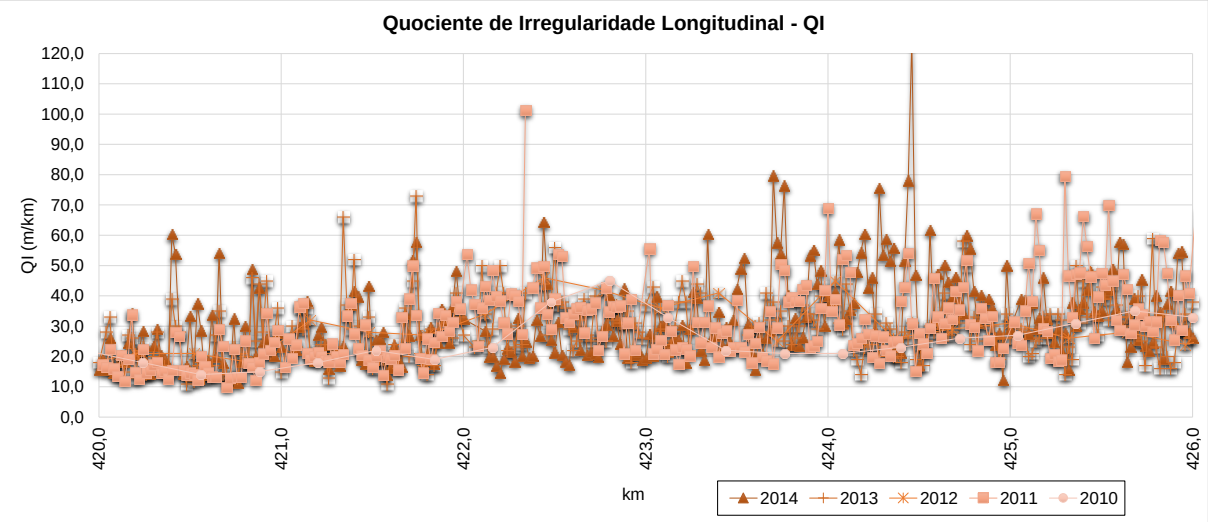


Figura 63: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 423 (pista norte)

422,5 423,5 DECRESCENTE

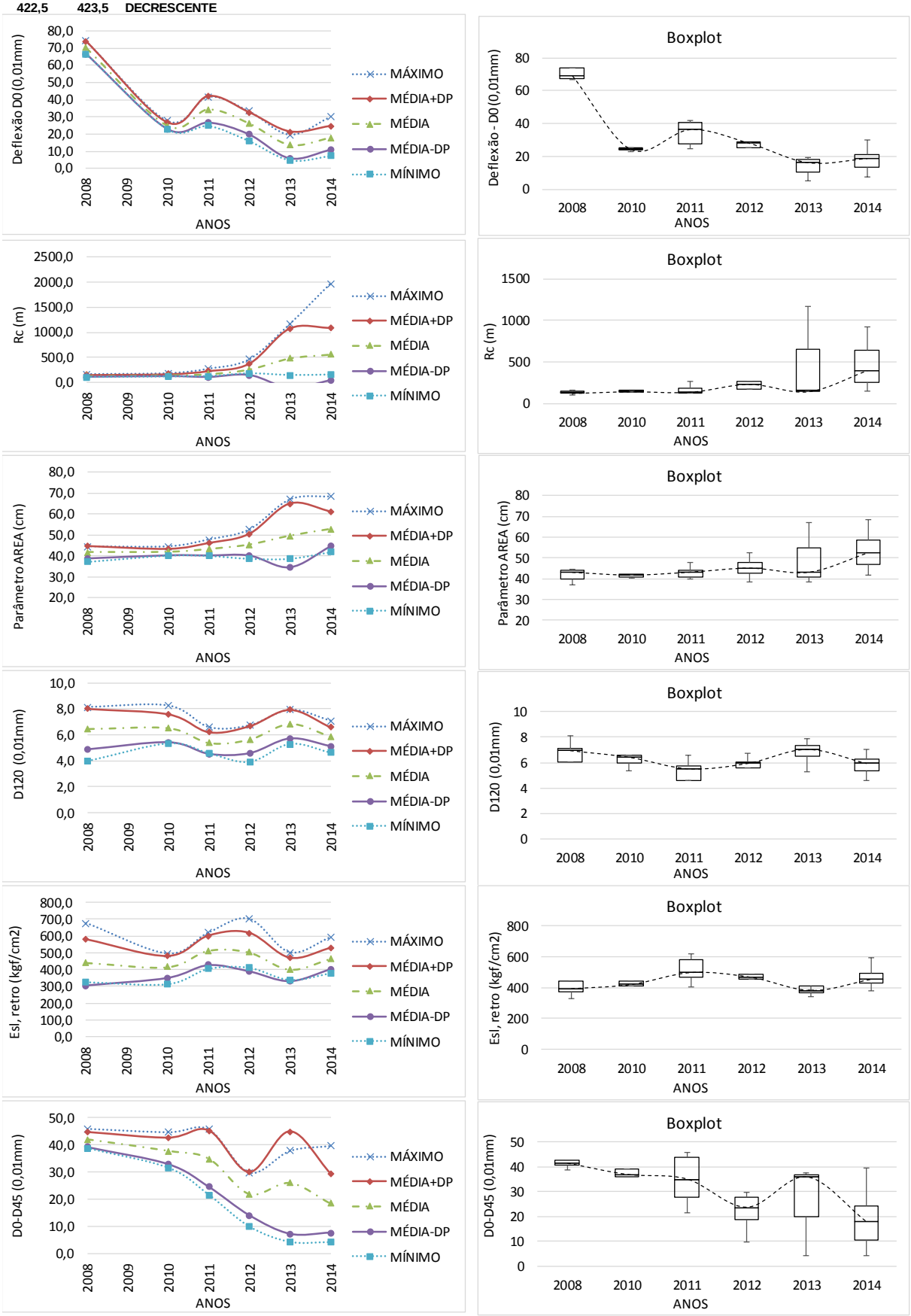


Figura 64: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 423)

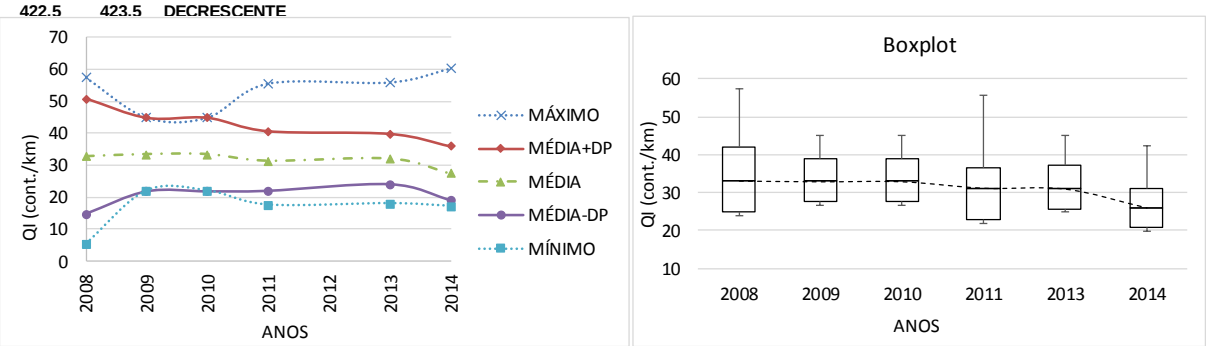


Figura 65: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 423)

8.6. Poço de inspeção do km 429 (Pista Norte)

A Figura 66 e Figura 67 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 429 (pista norte) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se uma região com predominância de gnaisse.

A Tabela 20 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento. Verifica-se que o pavimento sofreu uma intervenção de reciclagem de base com emprego de emulsão asfáltica no ano de 2008.

A Tabela 21 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Este pavimento foi identificado como pavimento do tipo semirrígido com base de BGTC.

A Tabela 22 e Tabela 23 apresentam os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito e camada de base granular. Enquanto a Figura 68 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que o material no campo está com densidade acima da densidade máxima relativa à energia intermediária e umidade ligeiramente inferior à ótima. Infere-se que o material tenha sido compactado na energia modificada.

A Figura 69 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 70 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito para duas situações históricas distintas, ilustrando as variações de comportamento do subleito registradas através dos ensaios com FWD.

A Tabela 24 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 71 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo medido em laboratório e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade ótima e densidade máxima relativos à energia intermediária de compactação. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de: DOT Georgia - areia argilosa, Carmichael & Stuart (1985), Rada & Witczak (1981) e DER/SP - solos arenosos (2006).

A Figura 72 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade e densidade verificadas em campo no momento da abertura do poço de inspeção. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Malla & Joshi – materiais granulares (2006), e AASHTO/2002 (ME-PDG).

A Figura 73 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma convergência maior para o modelo Takeda (2006) e Malla & Joshi (2006).

A Figura 74 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 75 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 76 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 77 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

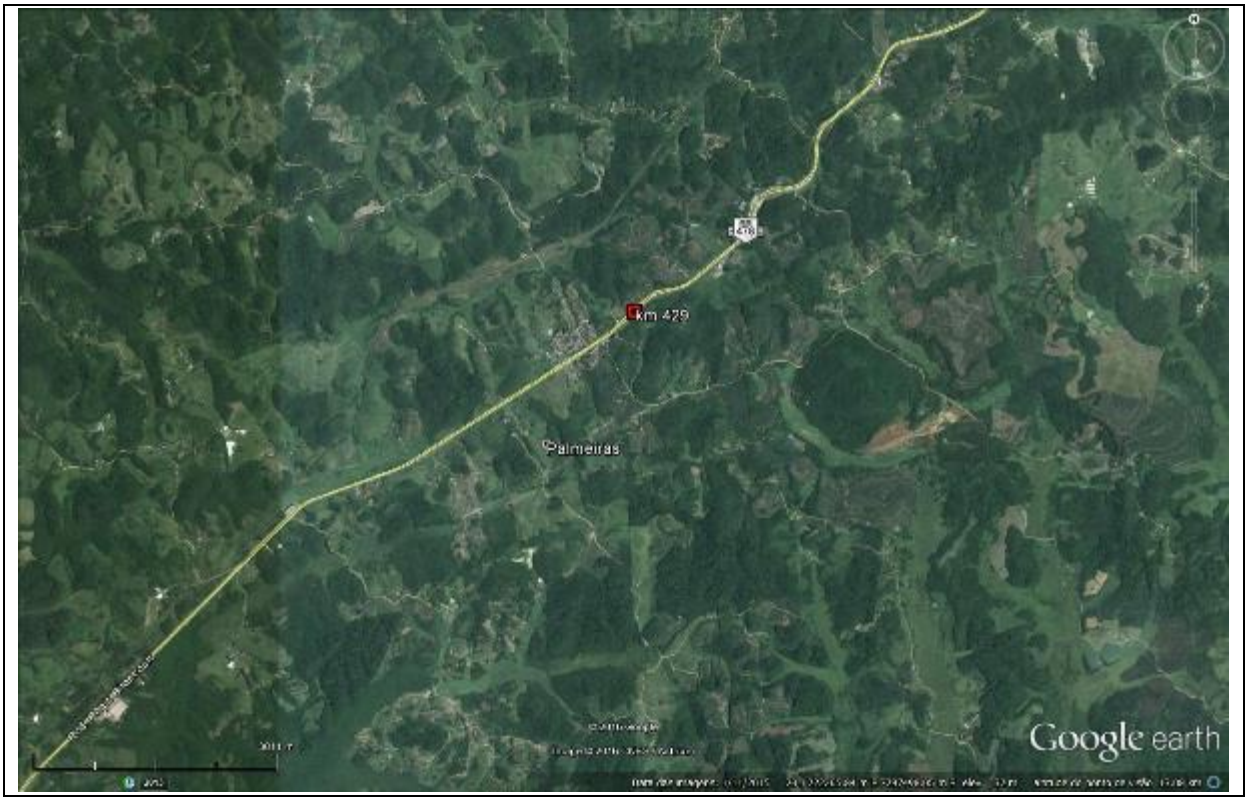
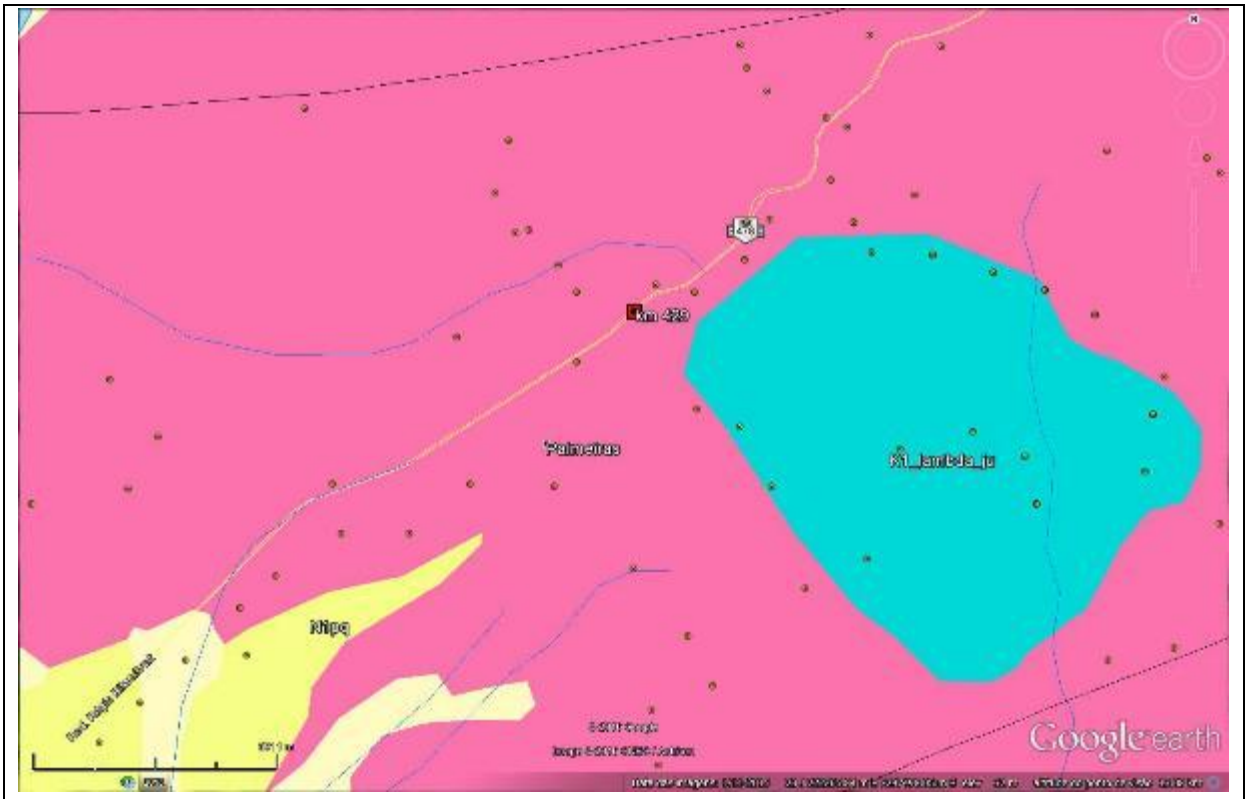


Figura 66: Localização do ponto sondado – km 429 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®



LEGENDA:

- Juquiá: Clinopiroxenito, Nefelina sienito, Olivina clinopiroxenito
- Granito Juquiá: Monzogranito
- Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho
- Atuba, Gnaisse Itapeúna: Gnaisse, Biotita monzogranito, Diorito, Granito gnaisse
- Pariquera-Açu: Depósitos de areia, Conglomerado, Depósitos de argila, Lamito
- Afloramentos

Figura 67: Mapa Geológico do local sondado – km 429 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 30: histórico de intervenções informado - km 429 (pista norte)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Interv.
429	429,000	429,030	FRESAGEM FUNCIONAL	3,00	5,01	01/04/2008
	428,950	429,340	FRESAGEM FUNCIONAL	3,65	5,01	02/04/2008
	428,550	429,850	RECICLAGEM DE PAV. ASF. COM EMULSÃO ES	3,80	10,00	16/12/2008
	428,411	429,998	MICROREVESTIMENTO	4,10	1,20	28/04/2009
	428,725	429,000	FRESAGEM FUNCIONAL	4,04	5,60	16/08/2012

Tabela 31: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 429 (pista norte)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
429	Norte	1	10,0	CA
		2	8,0	RAP C/ EMULSÃO
		3	22,0	BGS
		4	-	SL

Tabela 32: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
429	BGS	34	46	40	4	10	493	673	576	61	11
429	SL	23	33	28	3	12	679	986	817	102	13

Tabela 33: Estatística dos resultados de determinação do módulo da camada de BGS

km	Material	$E_{sb,retro}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
429	BGS	463	787	607	110	18

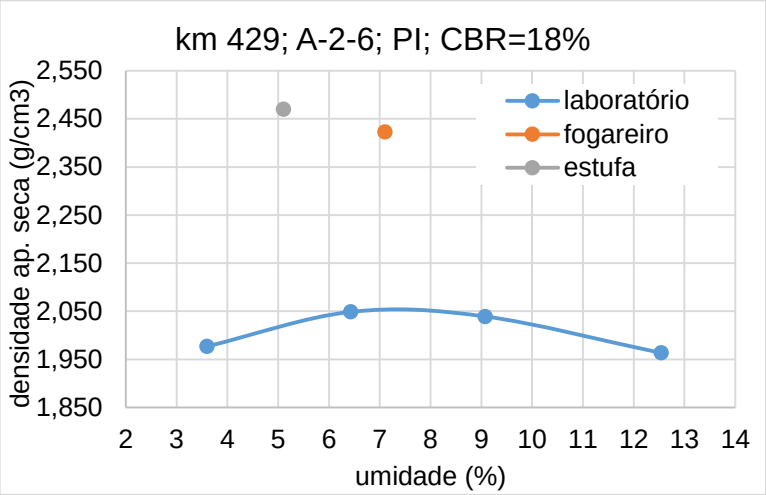
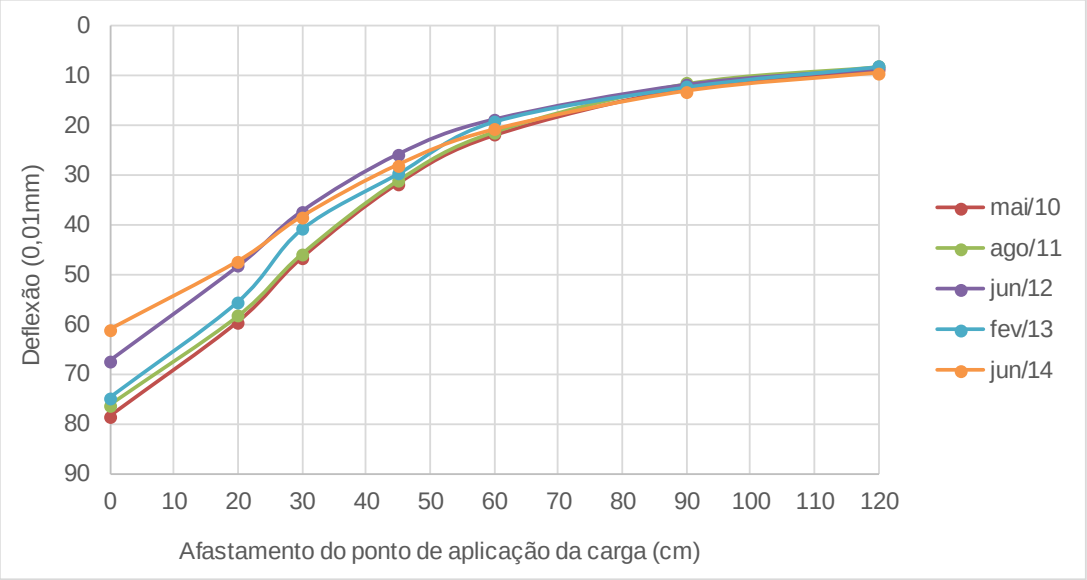


Figura 68: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 429, norte)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Er2 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esl (kgf/cm²)	Esl x 0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO/ 93)
Espessuras (cm)			**10,0**	**8,0**	**22,0**	**-**	**-**	**-**
Materiais			**CA**	**RAP C/ EMULSÃO**	**BGS**	**SL**	**SL**	**SL**
mar/08	* Provável estrutura antiga de pavimento flexível							
mai/10	28,0	38,0	28.000	600	600	900	297	282
ago/11	12,0	16,0	32.000	700	500	1.000	330	374
jun/12	29,0	37,0	18.000	2.000	1.000	1.000	330	371
fev/13	36,0	46,0	18.000	1.200	1.000	950	314	325
jun/14	19,0	27,0	35.000	2.100	1.000	950	314	303

Figura 69: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 429 (pista norte)

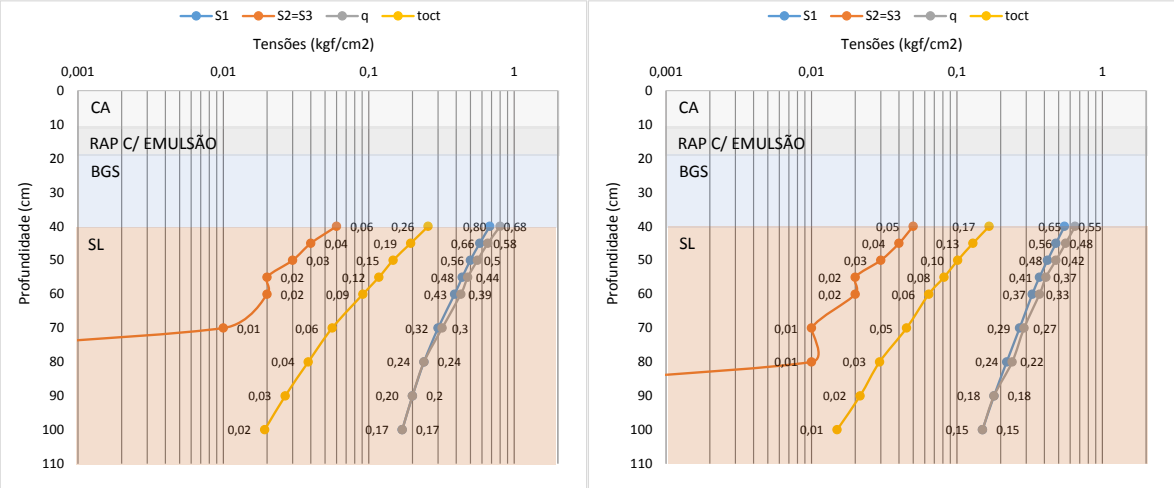


Figura 70: Tensões no subleito calculadas para (a) fev/2013 e (b) jun/2014

Tabela 34: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 429

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
					MR = k1 x (σ3)^k2							MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm²
1	**BR-116**	**429,0**	NORTE	Subleito	7,7	-	2,080	I	754	0,481	0,96	388	0,292	0,550	968
2	**BR-116**	**429,0**	NORTE	Cascalho variegado	8,7	-	2,041	N	407	0,390	0,91	221	0,230	0,45	770

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	**BR-116**	**429,0**	NORTE	Subleito							92	83	56		34			19,0	19,0	2	A-2-6
2	**BR-116**	**429,0**	NORTE	Cascalho variegado	100	99	95	92	89	81	67	41	32	26	22	22	8	0,0	0,0	0	A-1-b

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	**BR-116**	**429,0**	NORTE	Subleito	I	2,050	7,3	18	0,1	NG'	**ND**	5,1	2,470
2	**BR-116**	**429,0**	NORTE	Cascalho variegado	N	2,041	8,7	28	0,0	NS'-NA'	**ND**	**ND**	**ND**

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm³)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	**BR-116**	**429,0**	NORTE	Subleito	34	22	27	9	8	2,60	26,8	70,7	49,4
2	**BR-116**	**429,0**	NORTE	Cascalho variegado	22	10	9	26	33	2,60	27,4	82,6	ND

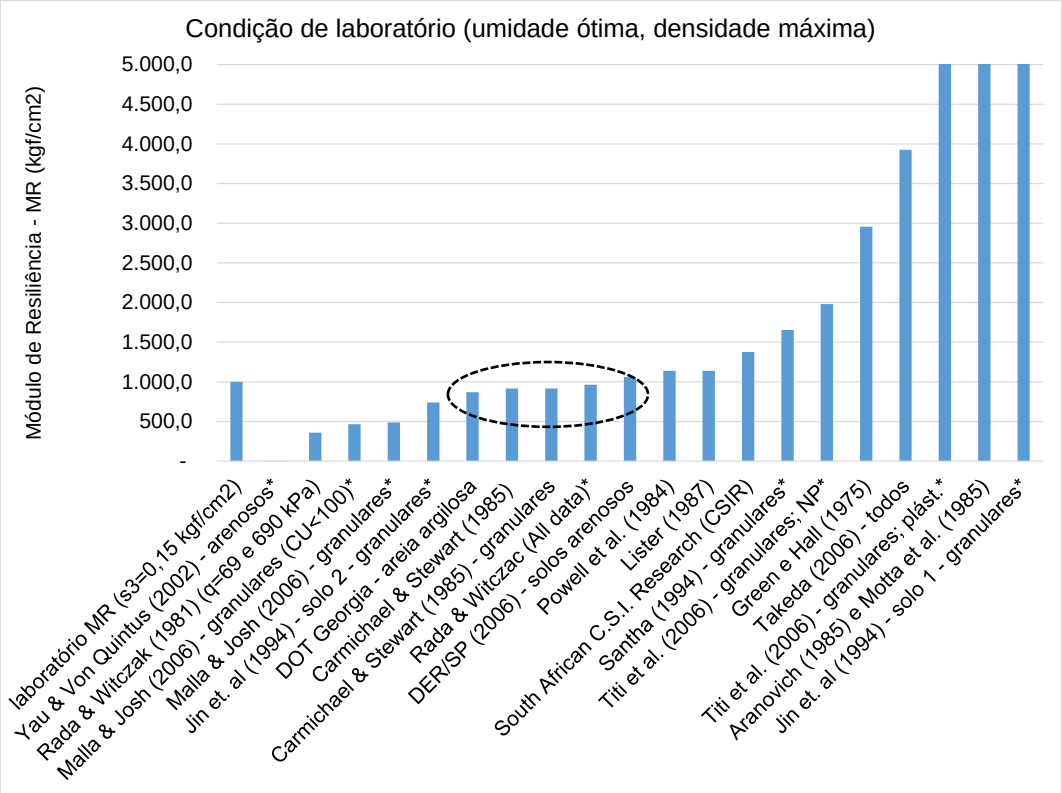


Figura 71: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

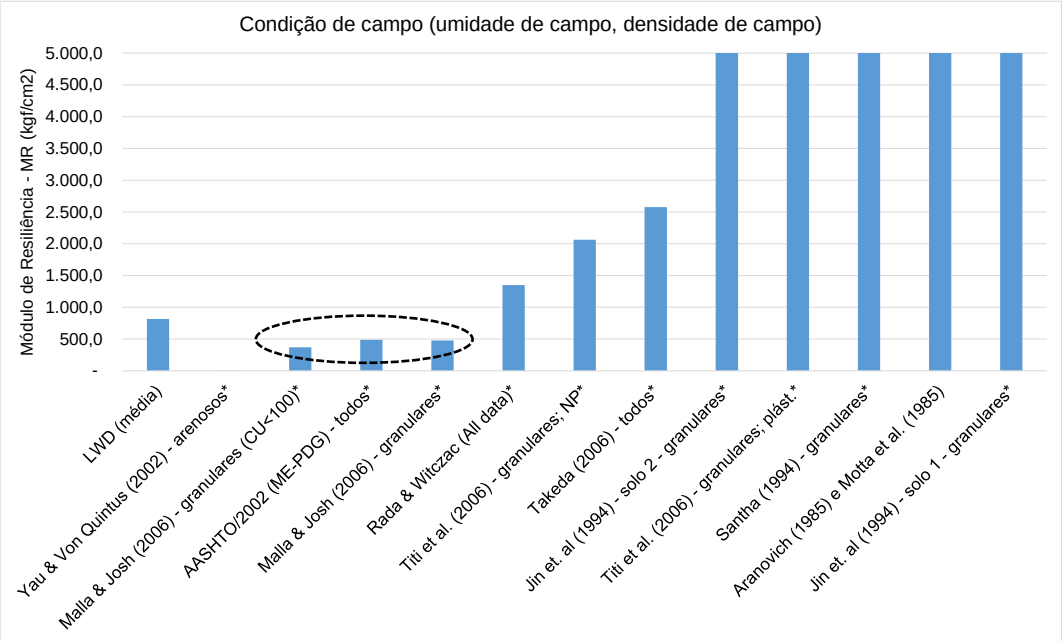


Figura 72: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

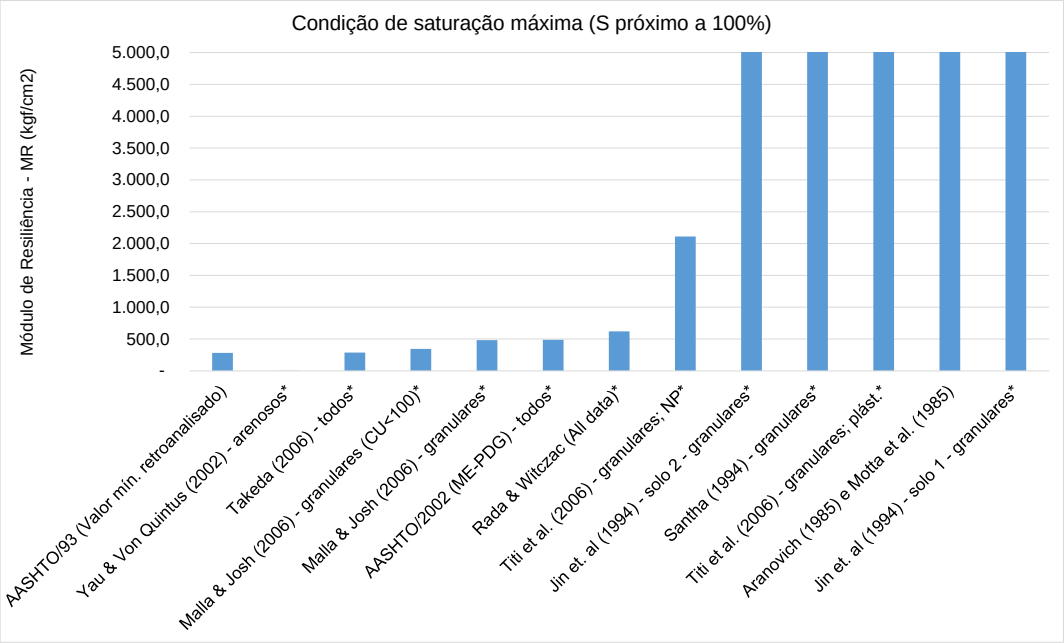
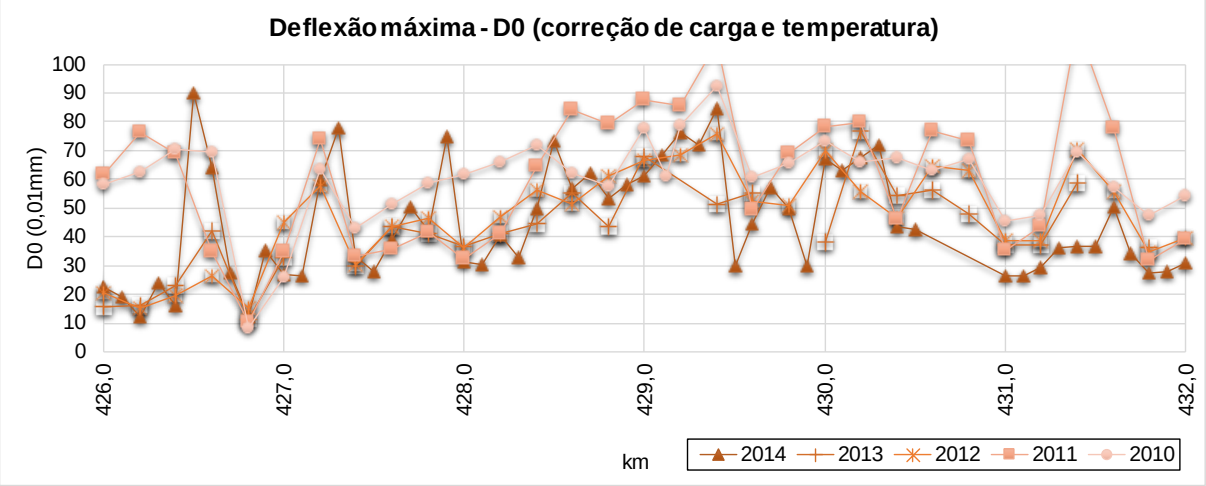
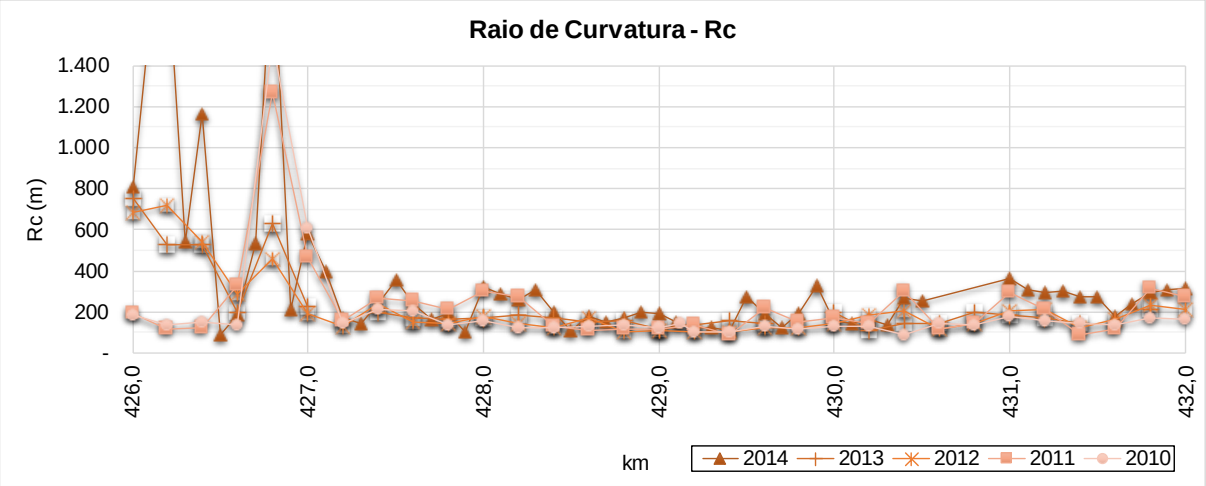


Figura 73: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





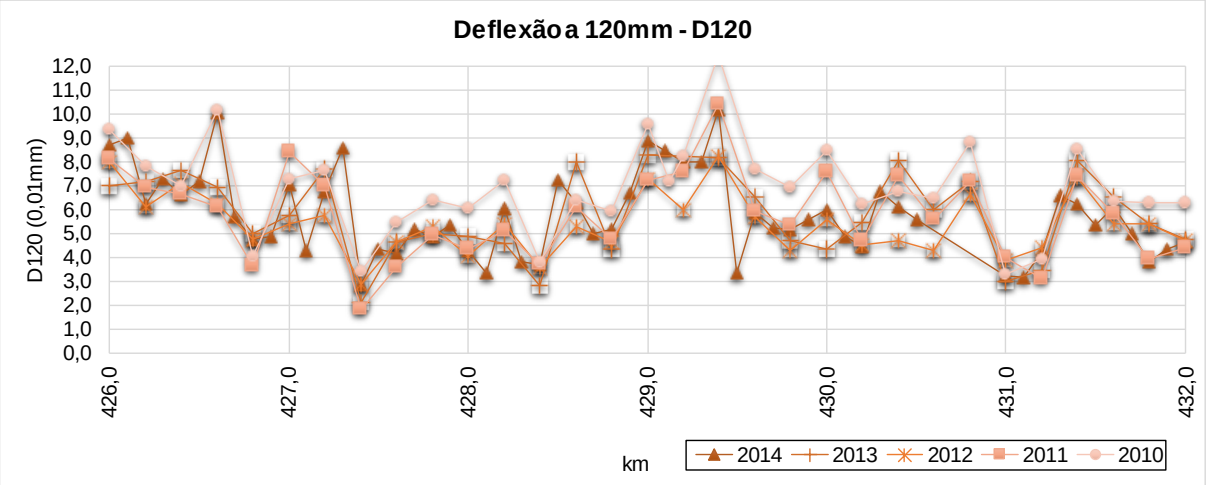
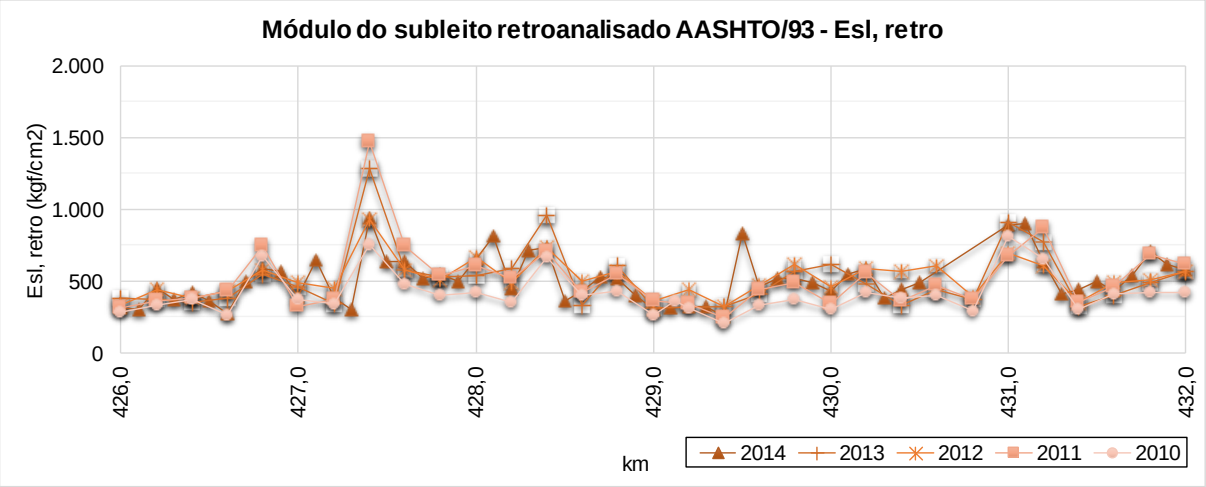


Figura 74: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 429 (pista norte)



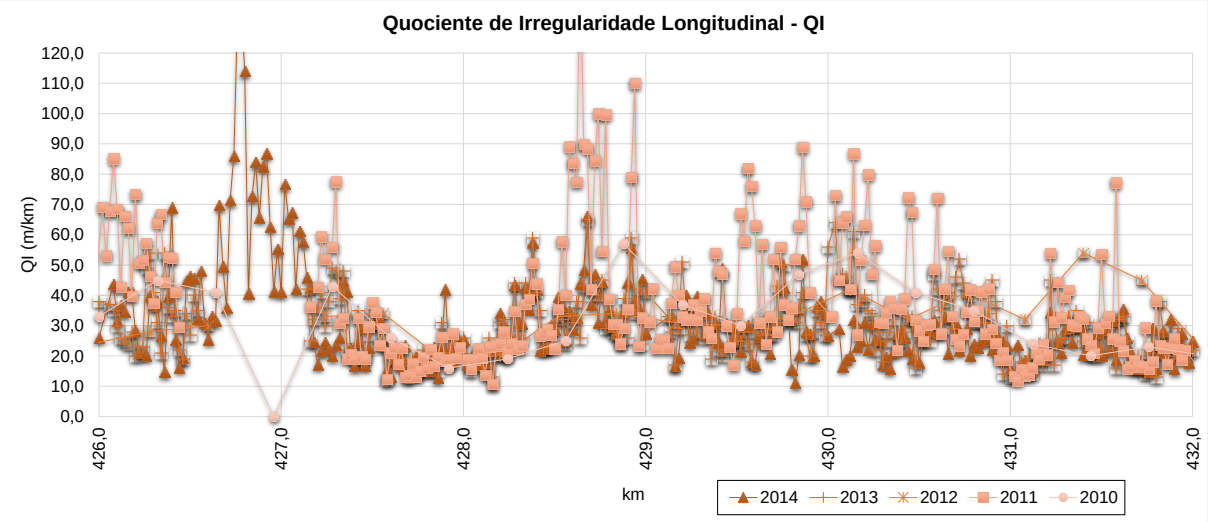


Figura 75: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 429 (pista norte)

428 429,5 DECRESCENTE

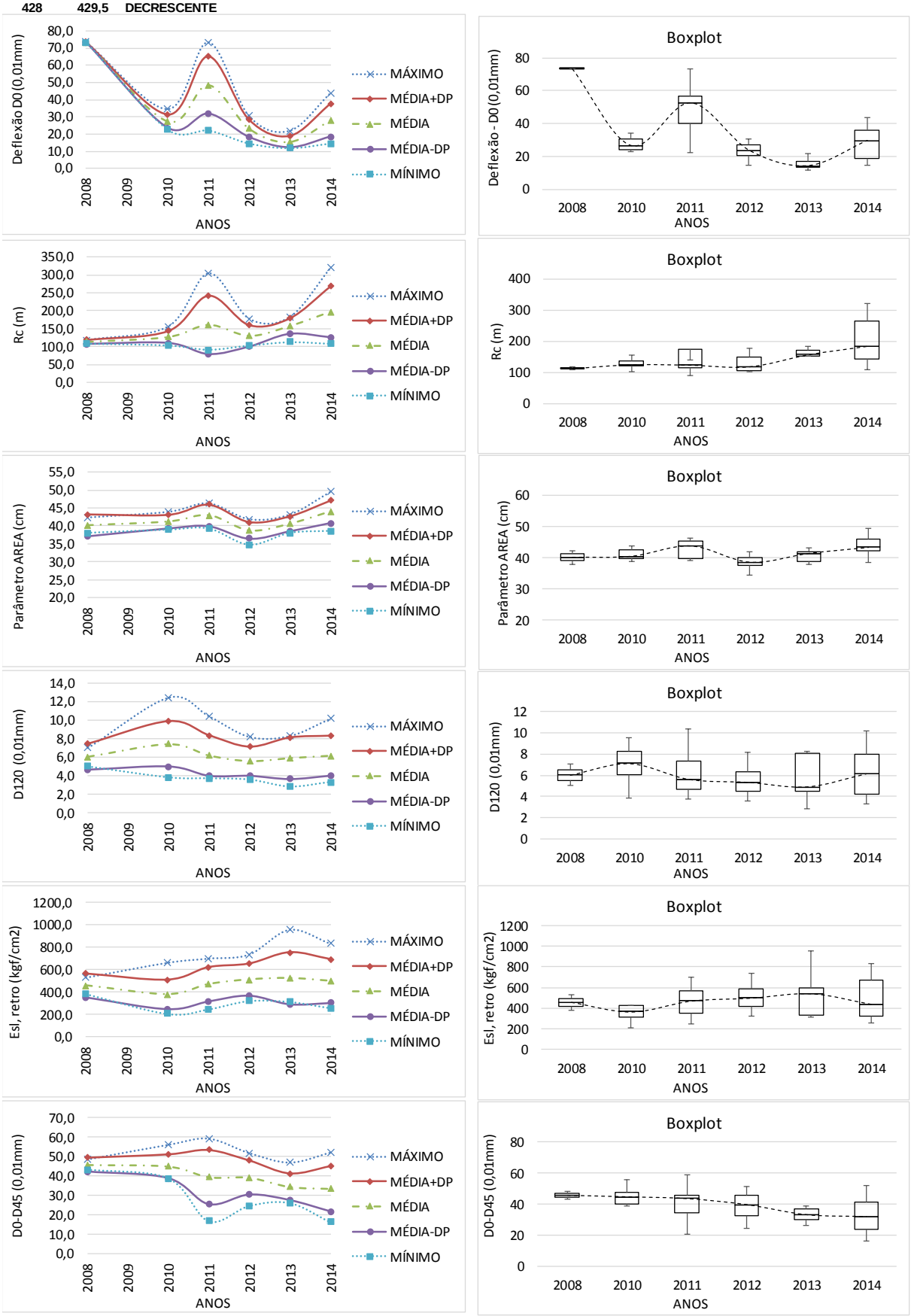


Figura 76: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 429)

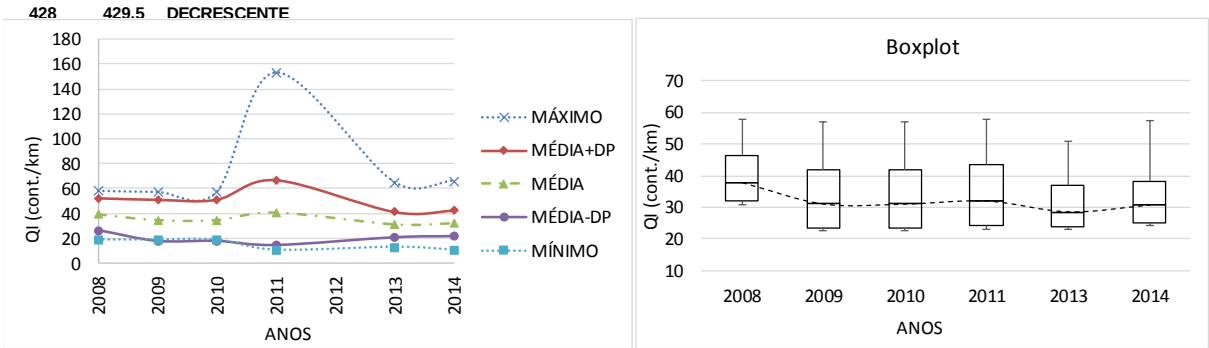


Figura 77: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 429)

8.7. Poço de inspeção do km 431 (Pista Norte)

A Figura 78 e Figura 79 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 431 (pista norte) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se uma região com predominância de gnaisse.

A Tabela 35 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento. Verifica-se que o pavimento sofreu uma intervenção de reconstrução do pavimento no ano de 2014.

A Tabela 36 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Este pavimento foi identificado como pavimento do tipo semirrígido com base de BGTC.

A Tabela 37 e Tabela 38 apresentam os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito e camada de base granular. Enquanto a Figura 80 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que o material no campo está com densidade e umidade bastante próximas da condição ótima para a energia de Proctor Intermediário.

A Figura 81 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 82 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito, ilustrando o comportamento do subleito através dos ensaios com FWD.

A Tabela 39 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 83 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo medido em laboratório e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade ótima e densidade máxima relativos à energia intermediária de compactação.

Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Rada & Witczak (1981), Jin et al. – solo 2 (1994) e DOT Georgia – areia argilosa.

A Figura 84 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade e densidade verificadas em campo no momento da abertura do poço de inspeção. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Malla & Joshi – materiais granulares (2006), AASHTO/2002 (ME-PDG) e Rada & Witczak (1981).

A Figura 85 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma convergência maior para o modelo de Malla & Joshi (2006), Takeda (2006) e AASHTO/2002.

A Figura 86 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 87 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 88 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 89 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

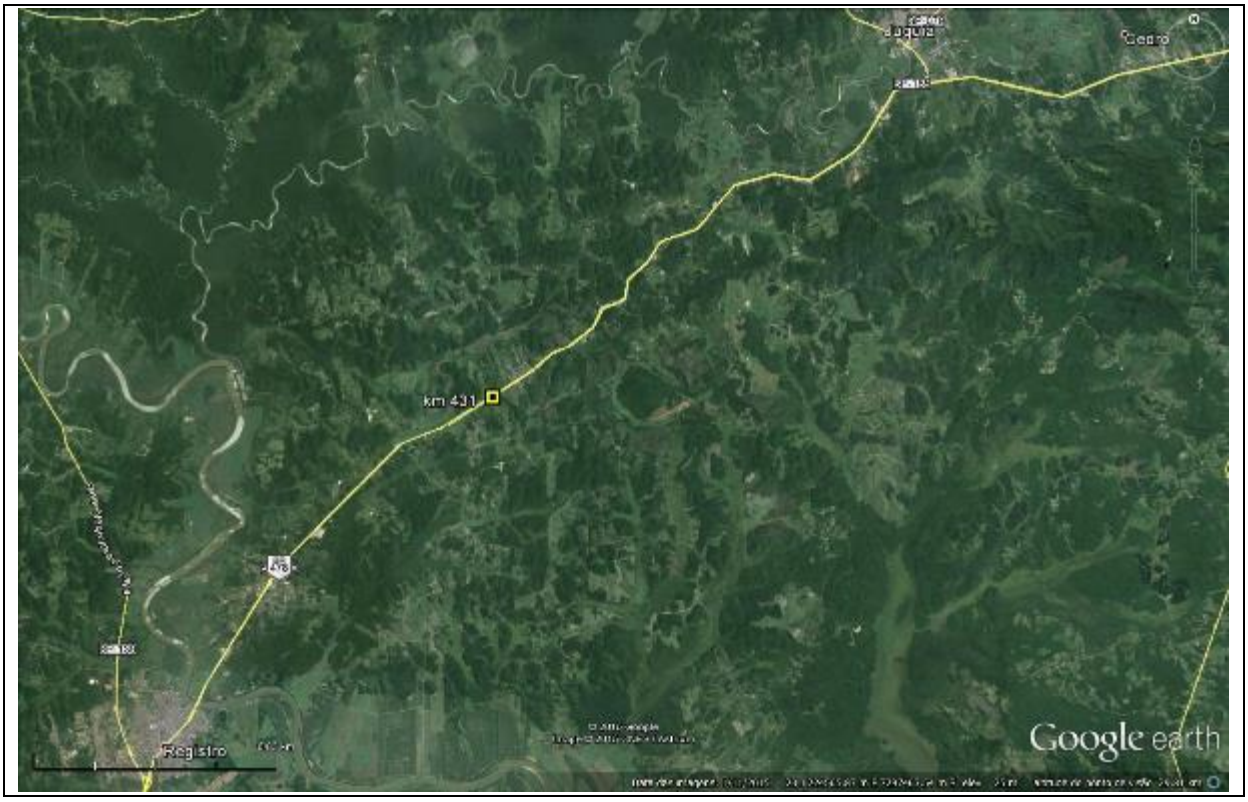
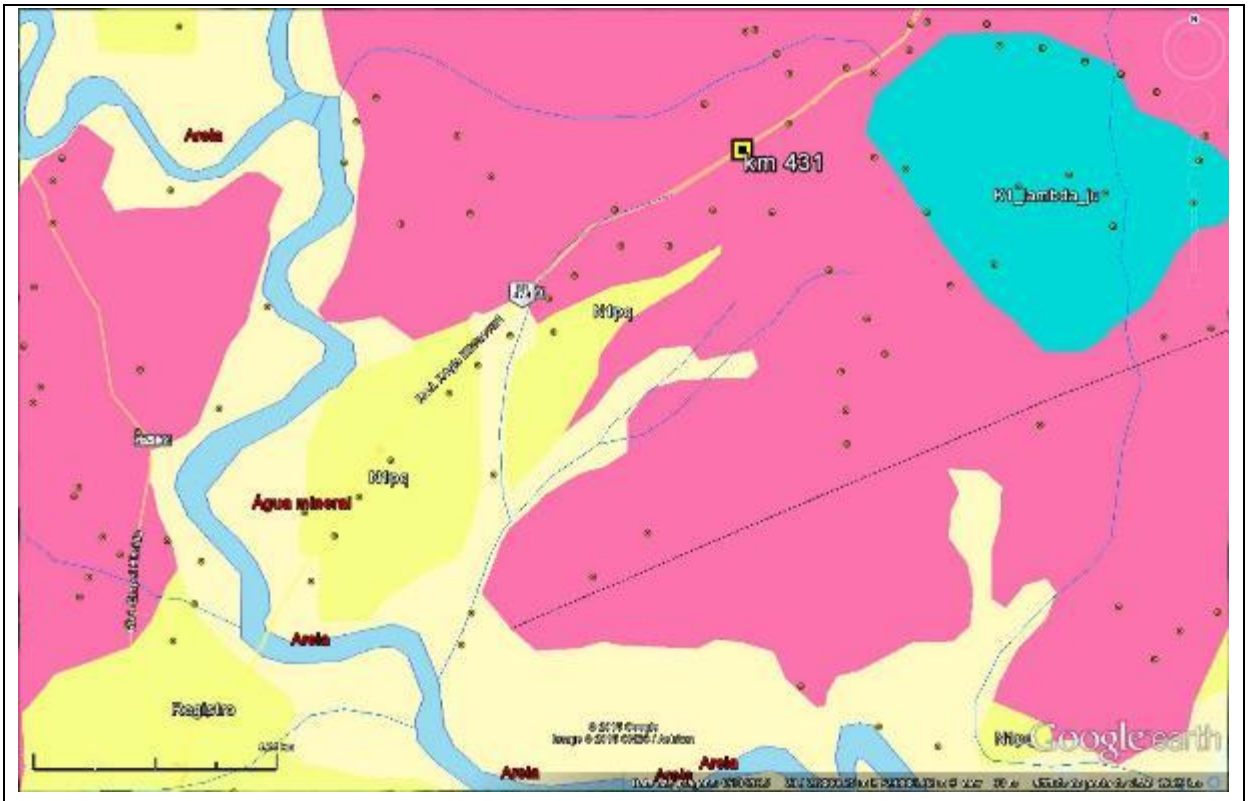


Figura 78: Localização do ponto sondado – km 431 (Pista Norte)
Fonte: Google Earth®



LEGENDA:

- **Atuba, Gnaisse Itapeúna: Gnaisse, Biotita monzogranito, Diorito, Granito gnaisse**
- **Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho**
- **Juquiá: Clinopiroxenito, Nefelina sienito, Olivina clinopiroxenito**
- **Pariquera-Açu: Depósitos de areia, Conglomerado, Depósitos de argila, Lamito**
- **Afloramentos**

Figura 79: Mapa Geológico do local sondado – km 431 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 35: histórico de intervenções informado - km 431 (pista norte)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Interv.
431	430,680	431,000	FRESAGEM FUNCIONAL	3,76	5,01	30/03/2008
	431,000	431,300	FRESAGEM FUNCIONAL	3,76	5,01	30/03/2008
	430,450	431,750	RECICLAGEM DE PAV. ASF. COM EMULSÃO ESP. "IN SITU"	3,80	10,00	13/12/2008
	429,998	431,547	MICROREVESTIMENTO	4,10	1,20	22/04/2009
	430,910	431,250	REFORÇO DE PAVIMENTO COM ASFALTO BORRACHA 20 %	3,60	5,50	04/06/2010
	430,630	431,000	RECONSTRUÇÃO DE PAVIMENTO	4,00	97,00	13/06/2014

Tabela 36: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 431 (pista norte)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
431	Norte	1	13,0	CA
		2	18,0	BGTC
		3	11,0	BGS
		4	-	SL

Tabela 37: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
431	BGS	61	76	68	6	8	300	372	335	28	8
431	SL	30	35	33	2	7	654	766	699	48	7

Tabela 38: Estatística dos resultados de determinação do módulo da camada de BGS

km	Material	$E_{sb,retro}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
431	BGS	324	468	394	56	14

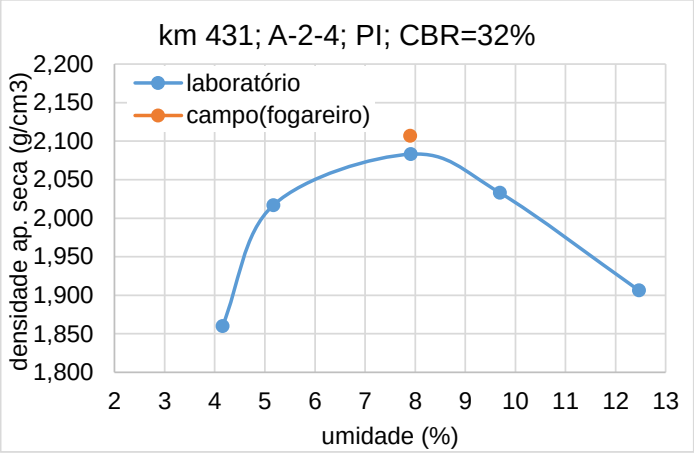
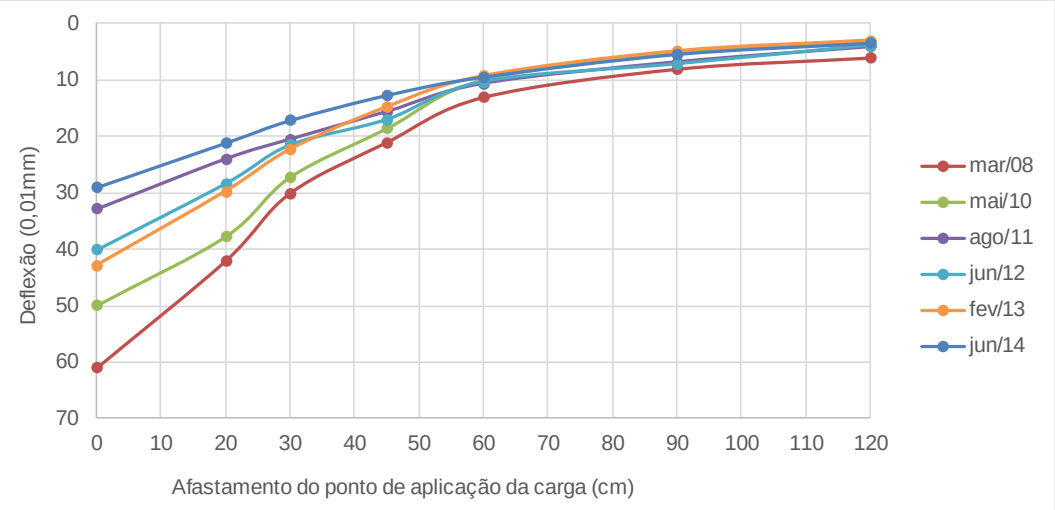


Figura 80: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 431, norte)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esb (kgf/cm²)	Esl (kgf/cm²)	Esl x 0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO/93) (kgf/cm2)
Espessuras (cm)			**13,0**	**18,0**	**11,0**	**-**	**-**	
Materiais			**CA**	**BGTC**	**BGS**	**SL**	**SL**	**SL**
mar/08								454
mai/10								824
ago/11				*Provável estrutura antiga				674
jul/12								691
fev/13								903
jun/14	26,0	30,0	23.000	8.000	400	3.000	990	833

Figura 81: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 431 (pista norte)

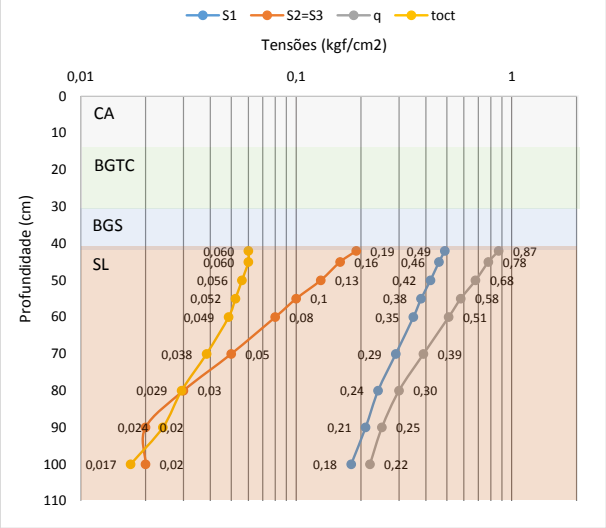


Figura 82: Tensões no subleito calculadas para jun/2014

Tabela 39: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 431

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm²
1	BR-116	431,0	NORTE	Subleito	6,6	-		I	864	0,480	0,92	461	0,330	0,65	1.113
2	BR-116	431,0	NORTE	Argila siltosa amarela	19,9	-	1,449	N	24	-0,430	0,35	18	-0,640	0,93	1.504

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	BR-116	431,0	NORTE	Subleito	100	100	100	100	97	94	84	70	28	20	16			23,5	8,2	0	A-2-4
2	BR-116	431,0	NORTE	Argila siltosa amarela	100	100	100	100	100	100	100	90	83	80	77	77	67	66,9	24,9	20	A-7-5

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	BR-116	431,0	NORTE	Subleito	I	2,080	7,9	32	0,0	NS'-NA'	ND	7,9	2,107
2	BR-116	431,0	NORTE	Argila siltosa amarela	N	1,449	19,9	3	1,9	NG'	ND	ND	ND

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm3)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	BR-116	431,0	NORTE	Subleito	16	12	42	14	16	2,60	25,0	82,3	82,2
2	BR-116	431,0	NORTE	Argila siltosa amarela	77	6	8	9	0	2,70	86,3	62,2	ND

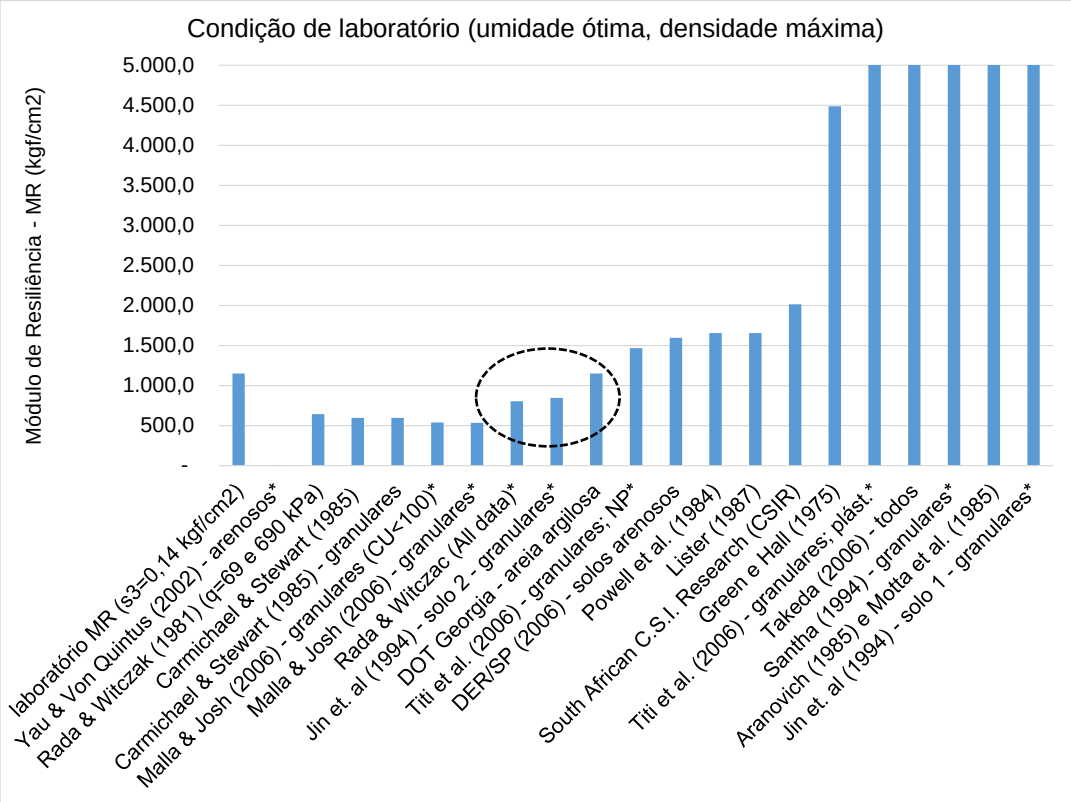


Figura 83: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

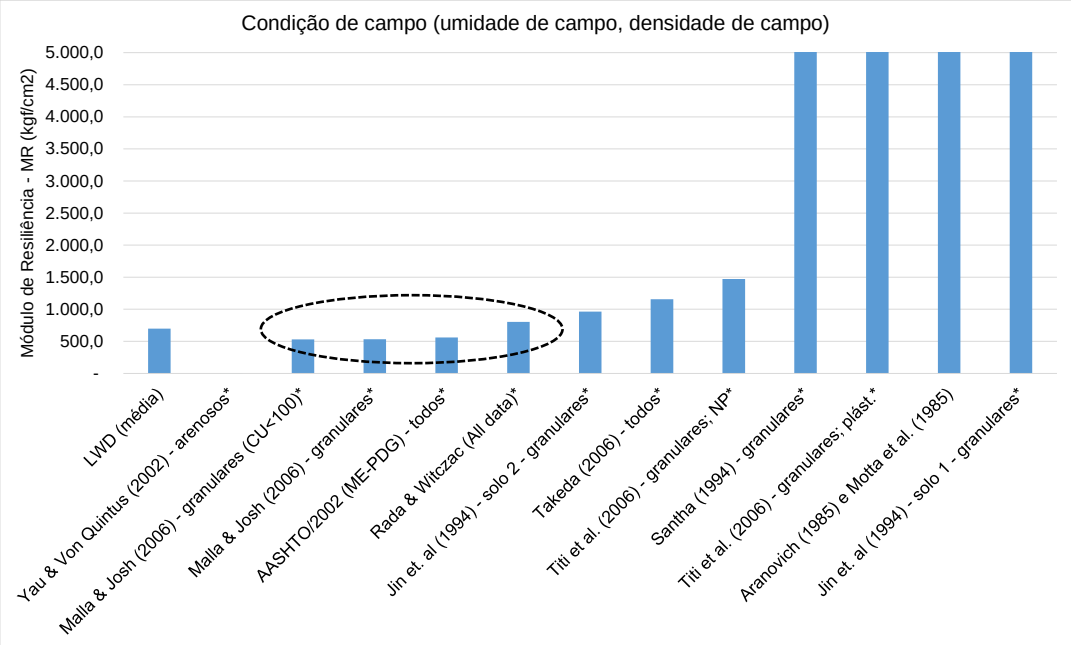


Figura 84: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

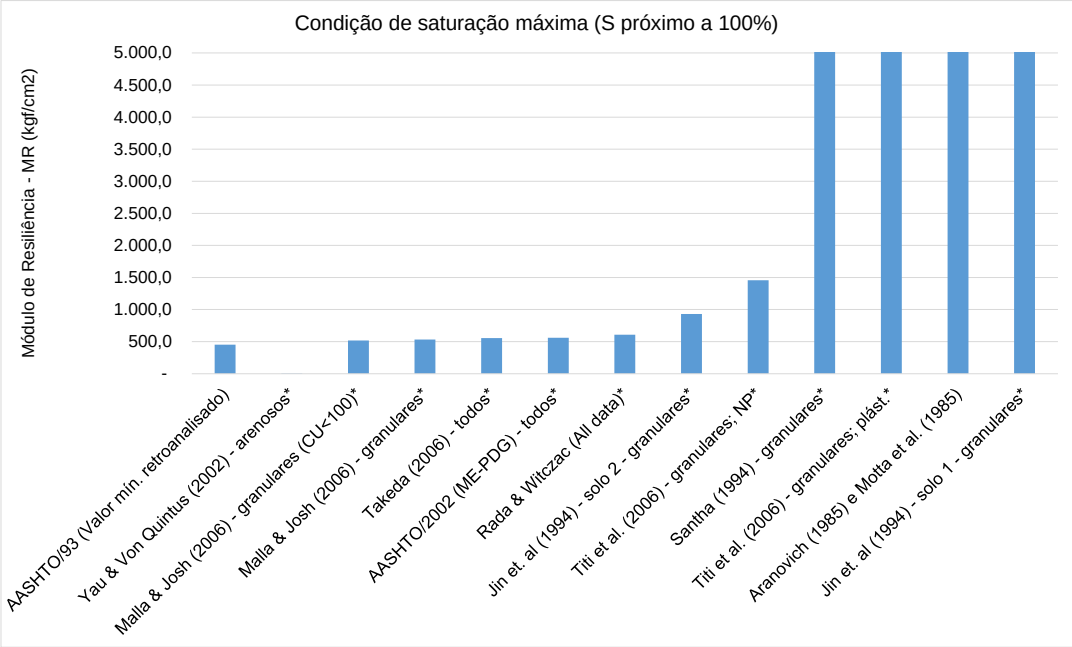
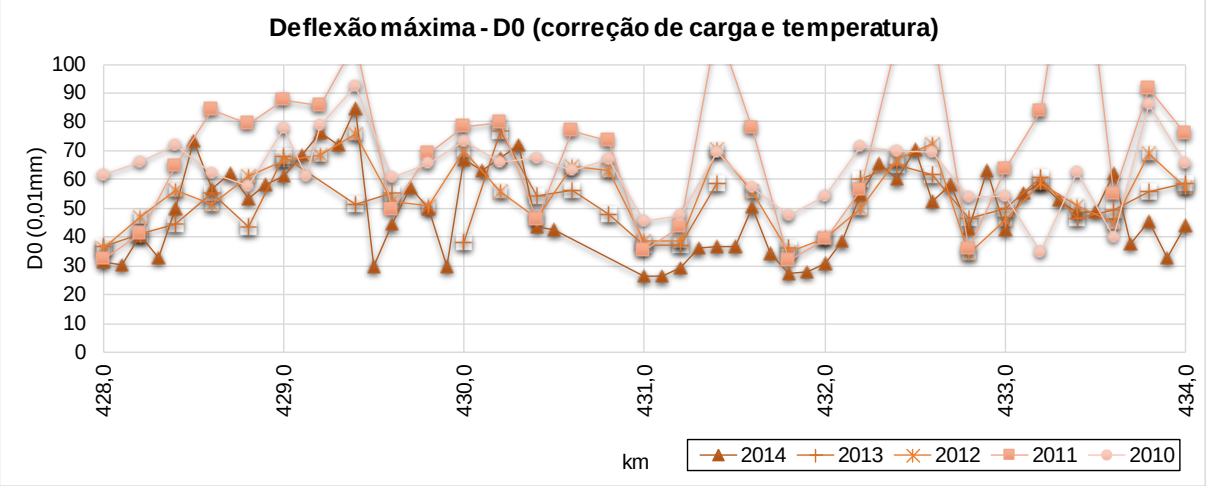
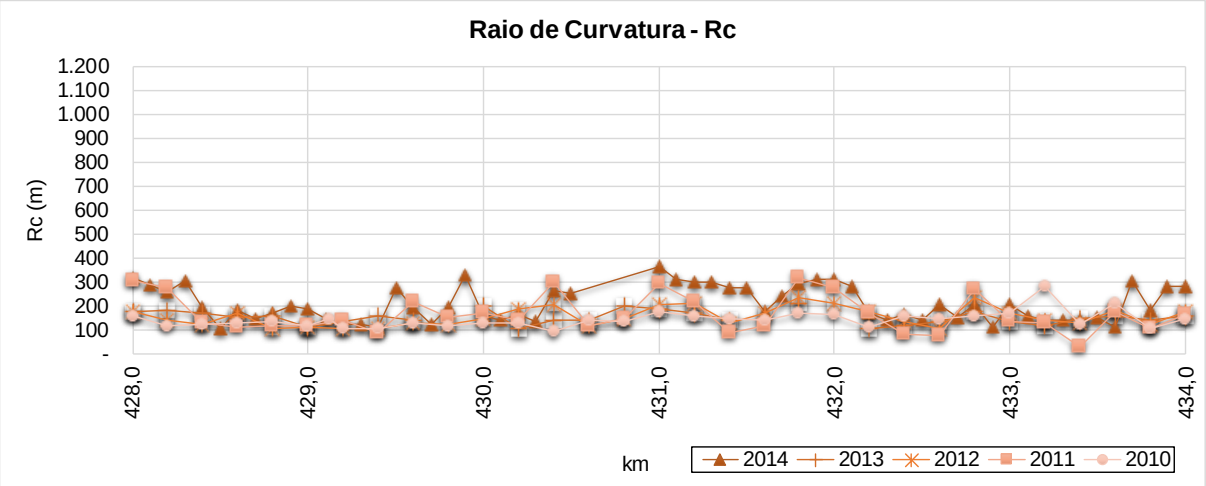


Figura 85: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





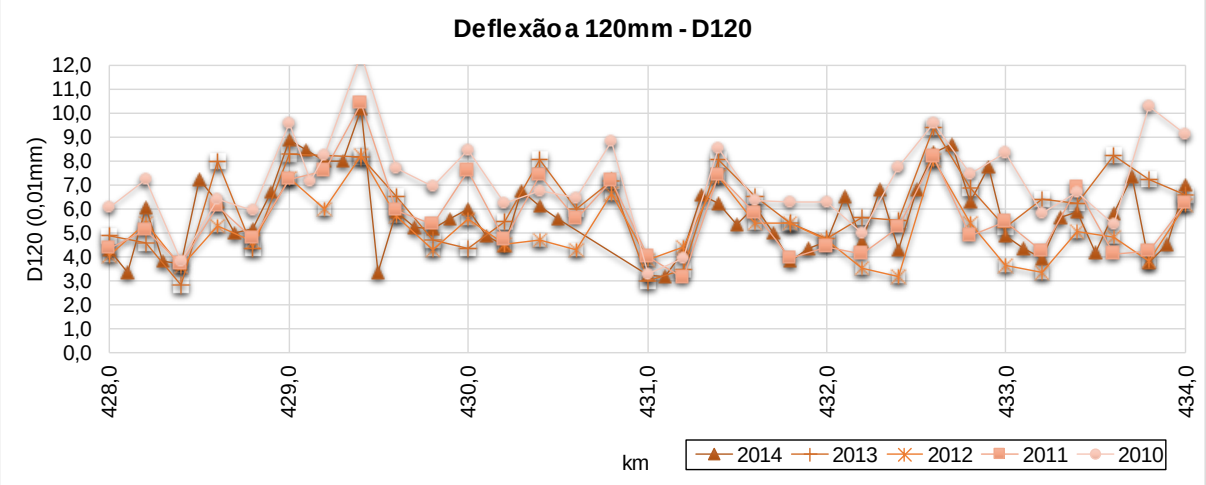
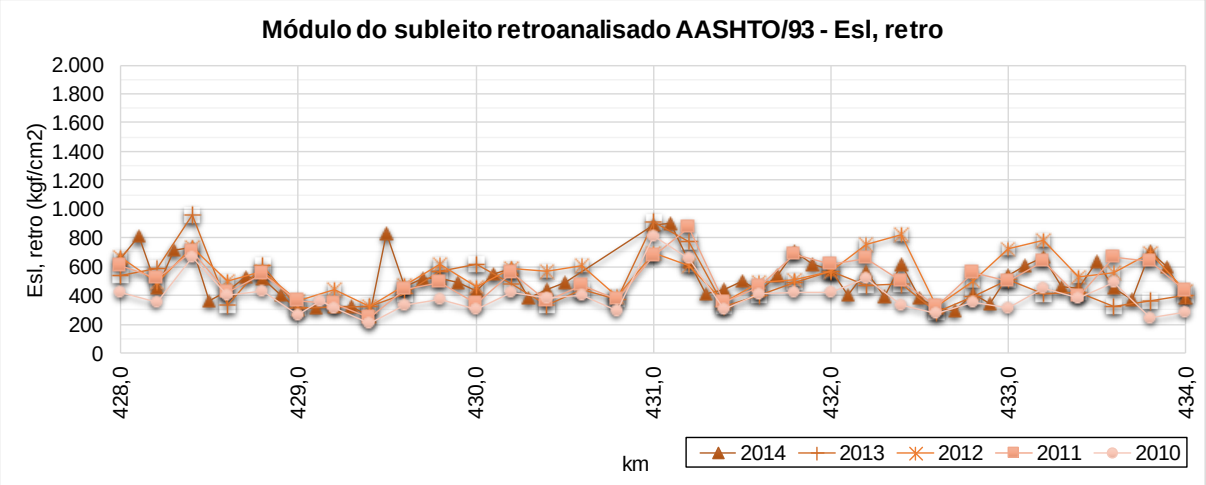


Figura 86: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 431 (pista norte)



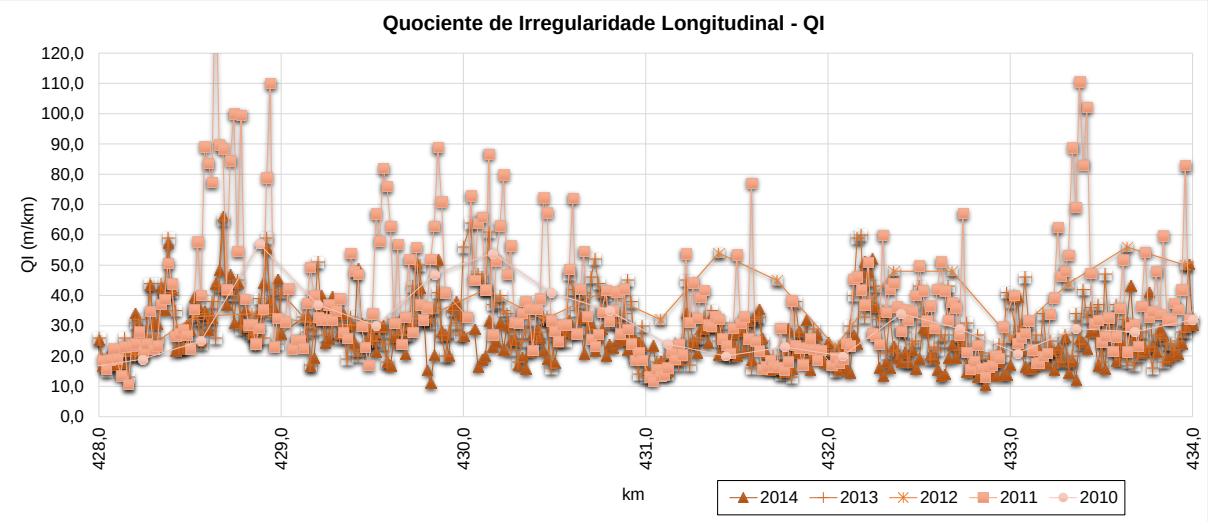


Figura 87: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 431 (pista norte)

430,5 431,7 DECRESCENTE

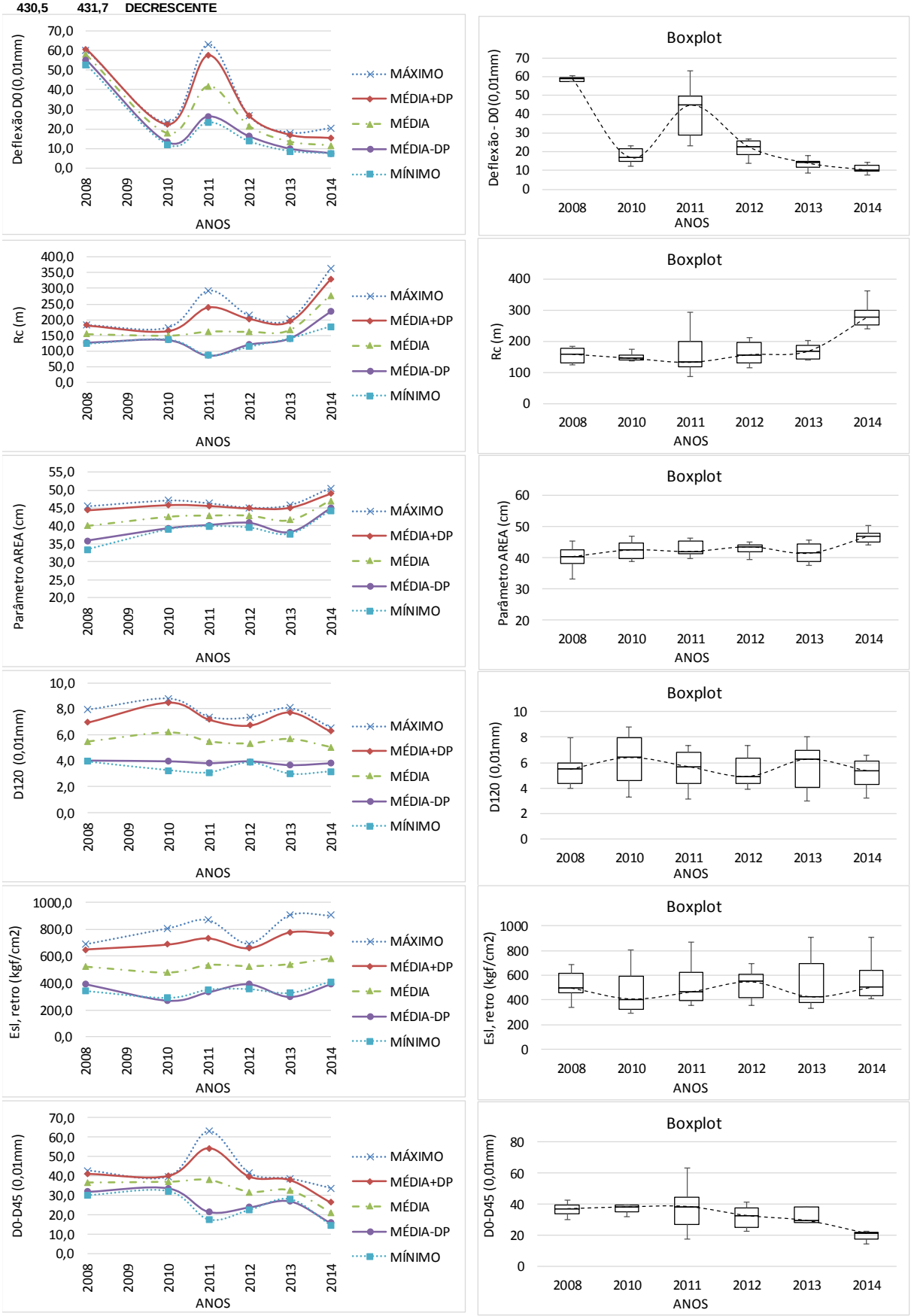


Figura 88: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 431)

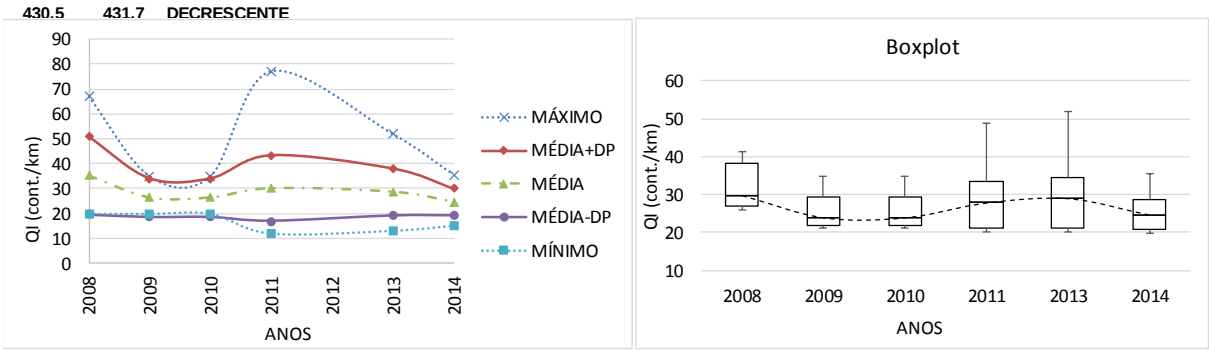


Figura 89: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 431)

8.8. Poço de inspeção do km 434 (Pista Norte)

A Figura 90 e Figura 91 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 434 (pista norte) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se uma região com predominância de gnaisse.

A Tabela 40 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento. Verifica-se que o pavimento sofreu uma intervenção de fresagem estrutural no ano de 2013.

A Tabela 41 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Foi encontrada uma cada cimentada na base do pavimento, conferindo características de comportamento de pavimento semirrígido.

A Tabela 42 e Tabela 43 apresentam os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito e camada de base granular. Enquanto a Figura 92 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que o material no campo está com densidade sensivelmente abaixo da densidade máxima relativa à energia intermediária e umidade sensivelmente superior à ótima. Infere-se que o material tenha sido compactado na energia normal e estava saturada no momento da abertura do poço.

A Figura 93 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 94 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito, ilustrando o comportamento do subleito registrado através dos ensaios com FWD.

A Tabela 44 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 95 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo medido em laboratório e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade ótima e densidade máxima relativos à energia intermediária de compactação. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Jin et al. (1994), Rada & Witczak (1981), Titi et al.– granulares (2006).

A Figura 96 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade e densidade verificadas em campo no momento da abertura do poço de inspeção. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Malla & Joshi – materiais granulares (2006), AASHTO/2002 (ME-PDG) e Rada & Witczak (1981).

A Figura 97 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma convergência maior para o modelo de Jin et al. – solo 2 (1994).

A Figura 98 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 99 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 100 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 101 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

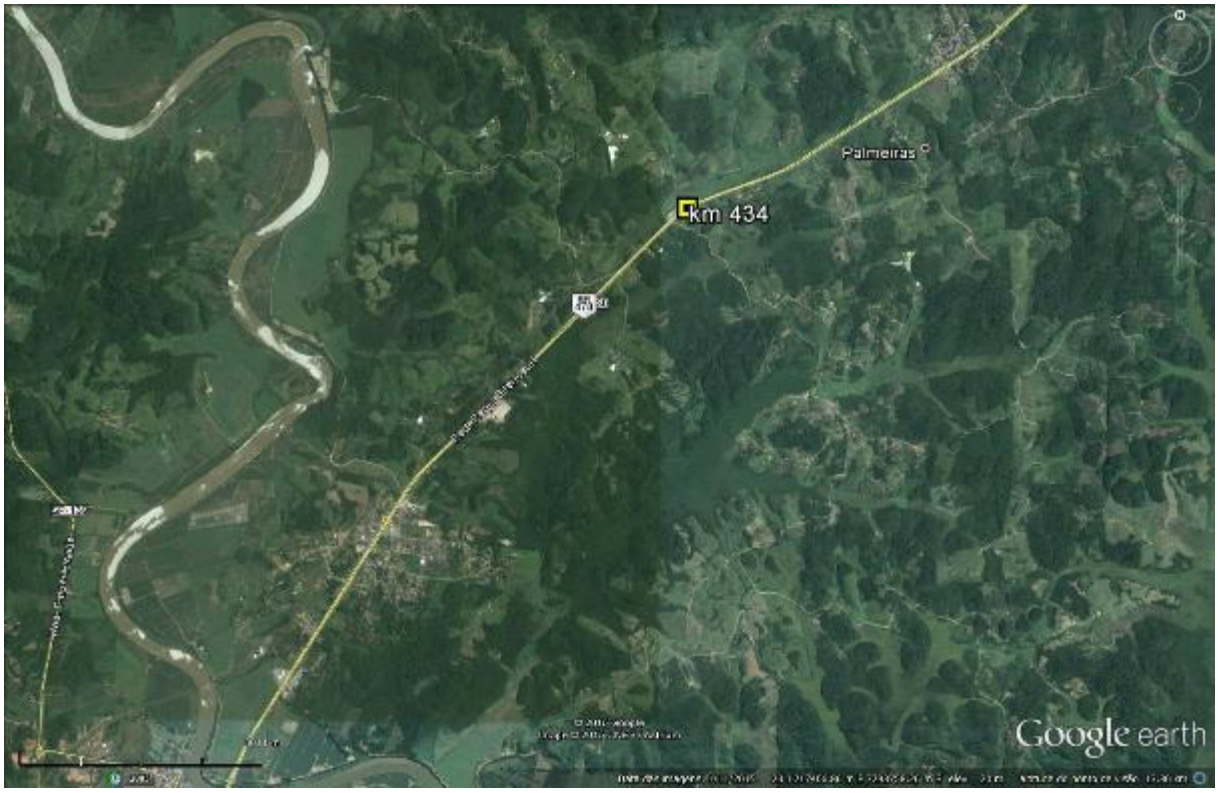
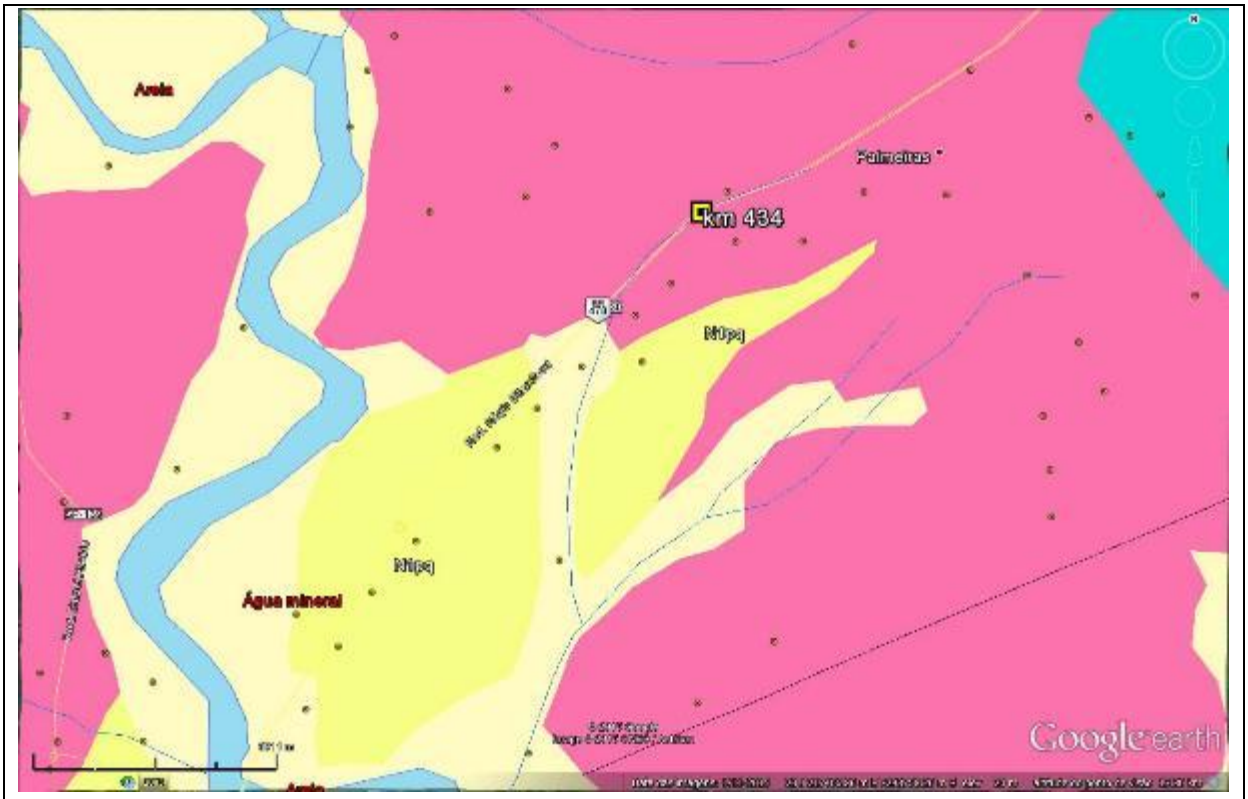


Figura 90: Mapa de localização do local sondado – km 434 (Pista Norte)
Fonte: Google Earth®



LEGENDA:

- Atuba, Gnaisse Itapeúna: Gnaisse, Biotita monzogranito, Diorito, Granito gnaisse
- Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho
- Juquiá: Clinopiroxenito, Nefelina sienito, Olivina clinopiroxenito
- Pariquera-Açu: Depósitos de areia, Conglomerado, Depósitos de argila, Lamito
- Afloramentos

Figura 91: Mapa Geológico do local sondado – km 434 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 40: histórico de intervenções informado - km 434 (pista norte)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Interv.
434	432,227	435,386	MICROREVESTIMENTO	4,30	1,20	27/09/2011
	434,000	434,007	FRESAGEM FUNCIONAL	3,86	5,20	22/10/2012
	434,000	434,338	FRESAGEM ESTRUTURAL	3,88	6,00	16/02/2013

Tabela 41: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 434 (pista norte)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada	Materiais ensaiados
434	Norte	1	13,0	CA	
		2	10,0	CAM. CIMENTADA*	
		3	18,0	BGS	
		4	-	SL	

Tabela 42: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

Resumo											
km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
434	BGS	40	116	82	31	38	195	571	332	161	49
434	SL	38	50	42	4	10	454	595	549	50	9

Tabela 43: Estatística dos resultados de determinação do módulo da camada de BGS

km	Material	$E_{sb,retro}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
434	BGS	144	900	400	325	81

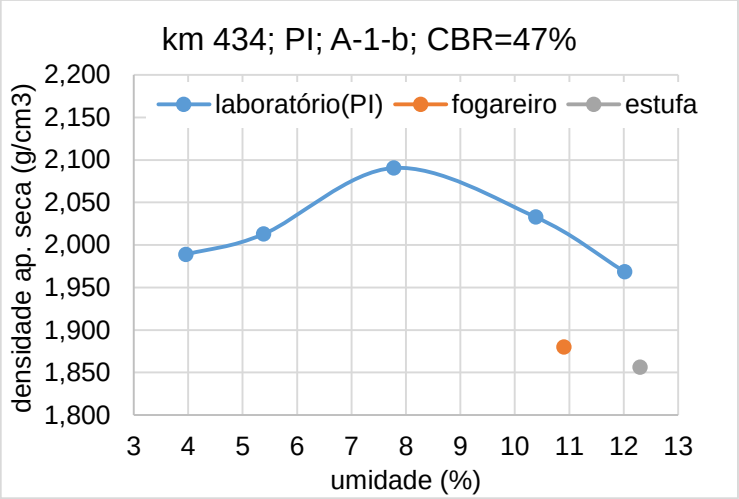
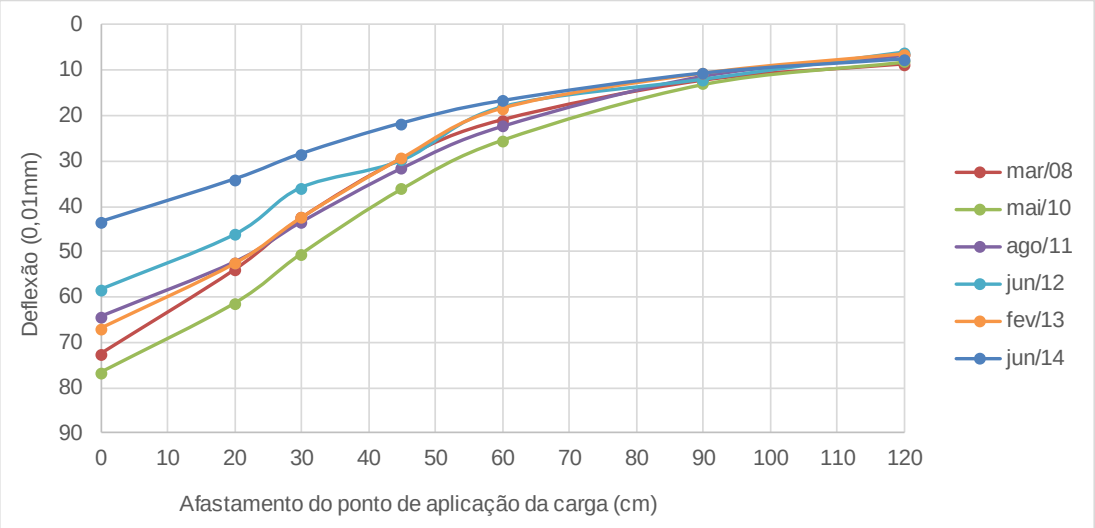


Figura 92: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 434, norte)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esb (kgf/cm²)	Esl (kgf/cm²)	Eslx0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO/ 93)
Espessuras (cm)			**13,0**	**10,0**	**18,0**	**-**		
Materiais			**CA**	**(CAM. CIMENTADA)**	**BGS**			
mar/08								338
mai/10								296
ago/11				*Provável estrutura antiga				432
jul/12								439
fev/13								410
jun/14	20,0	27,0	25.000	5.000	1.000	1.200	396	384

Figura 93: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 434 (pista norte)

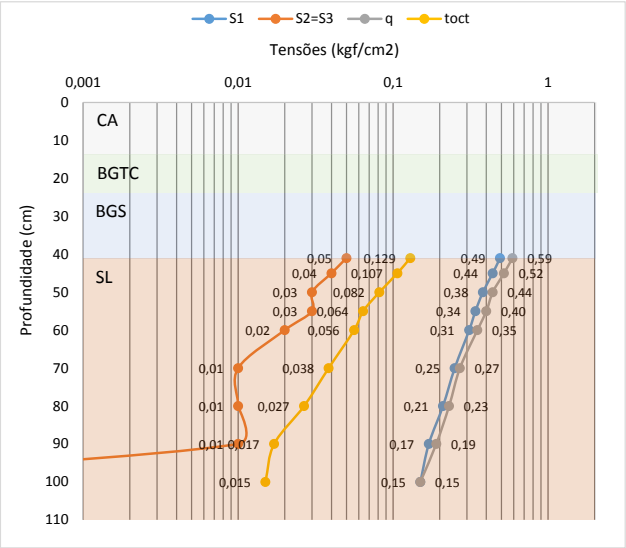


Figura 94: Tensões no subleito calculadas para jun/2014

Tabela 44: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 434

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm²
1	BR-116	434,0	NORTE	Subleito					761	0,470	0,98	420	0,330	0,72	1.023
2	BR-116	434,0	NORTE	Argila siltosa rosa	20,5	-	1,626	N	28	-0,310	0,38	31	-0,350	0,73	1.052

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	BR-116	434,0	NORTE	Subleito	100	100	100	96	93	91	86	72	23	10	2			20,0	3,6	0	A-1-b
2	BR-116	434,0	NORTE	Argila siltosa rosa	100	100	100	100	100	100	99	80	70	65	43	43	11	50,5	22,5	6	A-7-6

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	BR-116	434,0	NORTE	Subleito	I	2,090	7,8	47	0,0	NS'-NA'	ND	12,3	1,856
2	BR-116	434,0	NORTE	Argila siltosa rosa	N	1,626	20,5	3	3,7	NS'-NG'	ND	ND	ND

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm3)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	BR-116	434,0	NORTE	Subleito	2	21	49	14	14	2,85	36,4	60,9	96,4
2	BR-116	434,0	NORTE	Argila siltosa rosa	43	27	10	20	1	2,60	59,9	89,0	ND

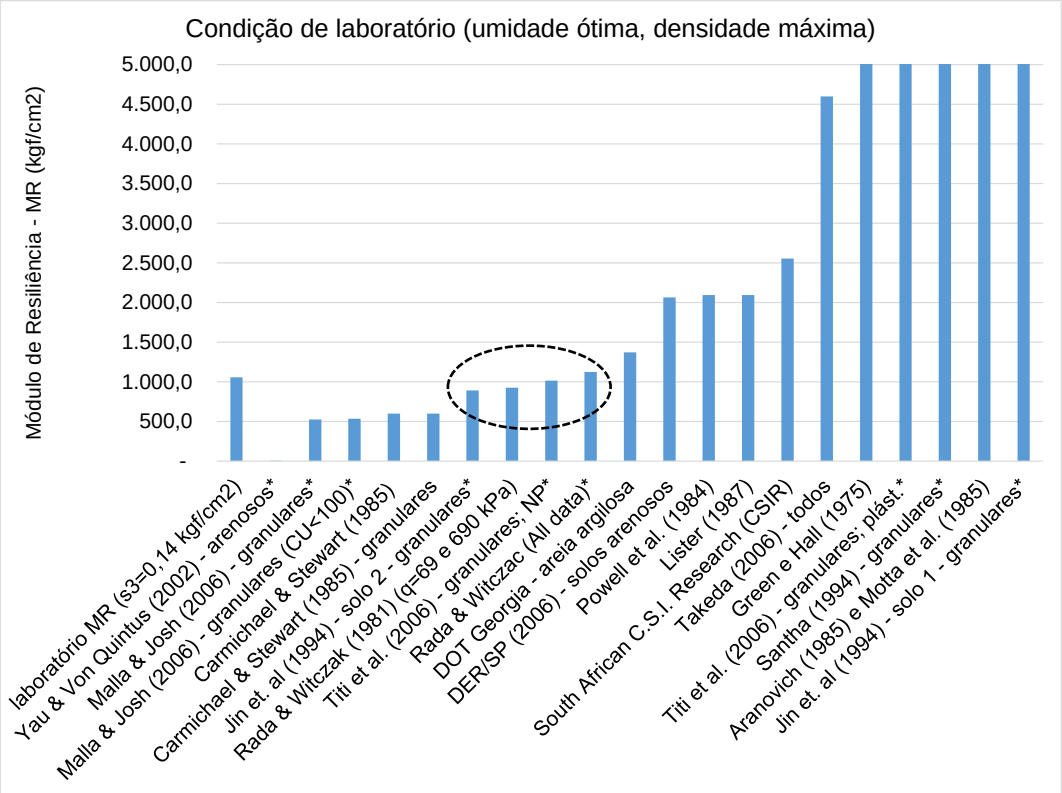


Figura 95: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

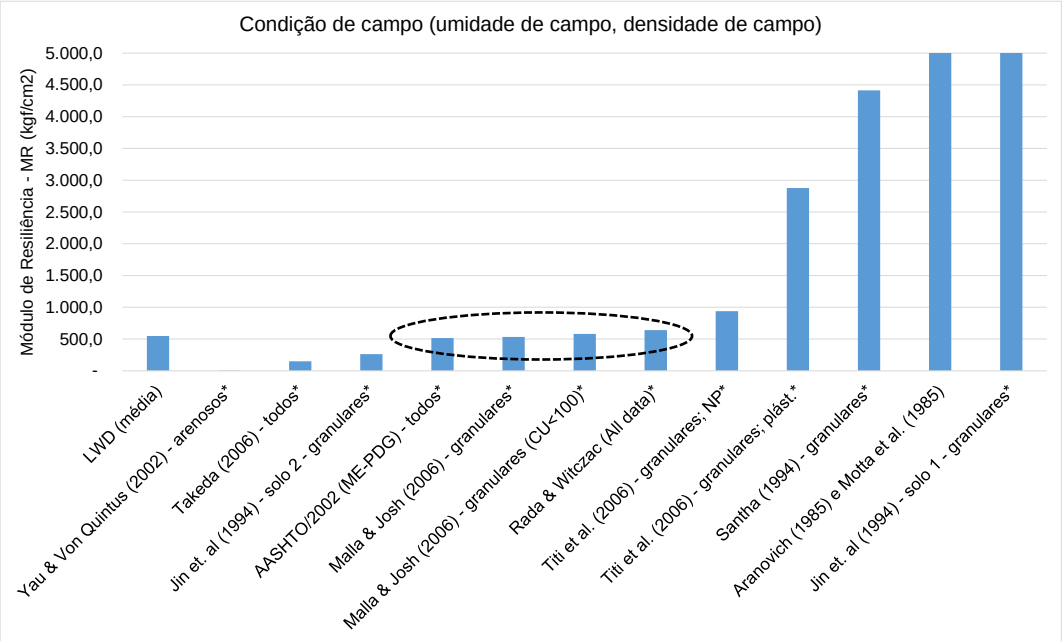


Figura 96: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

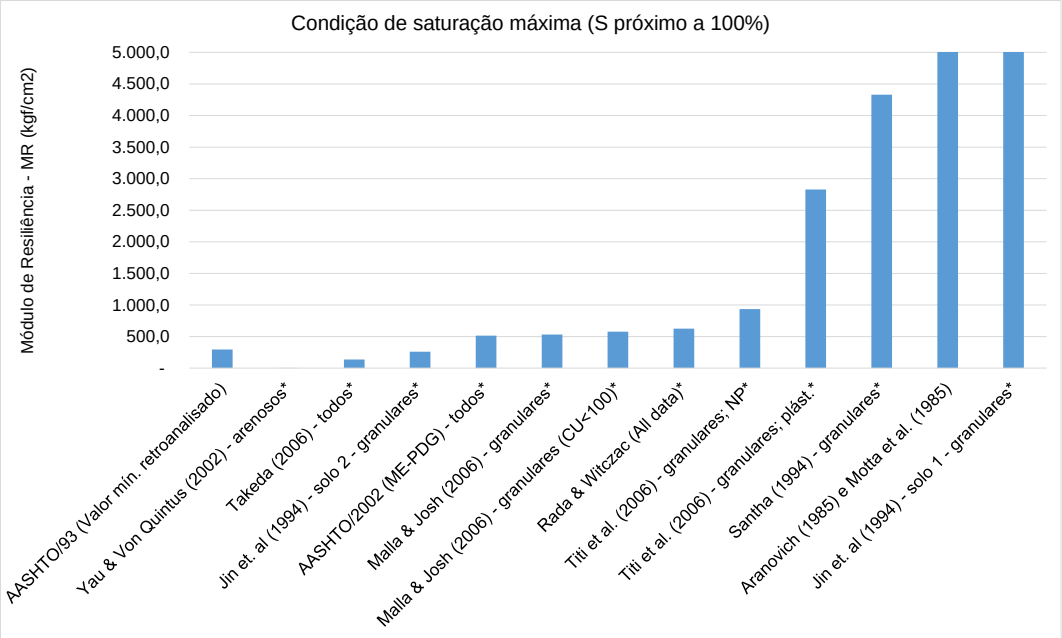
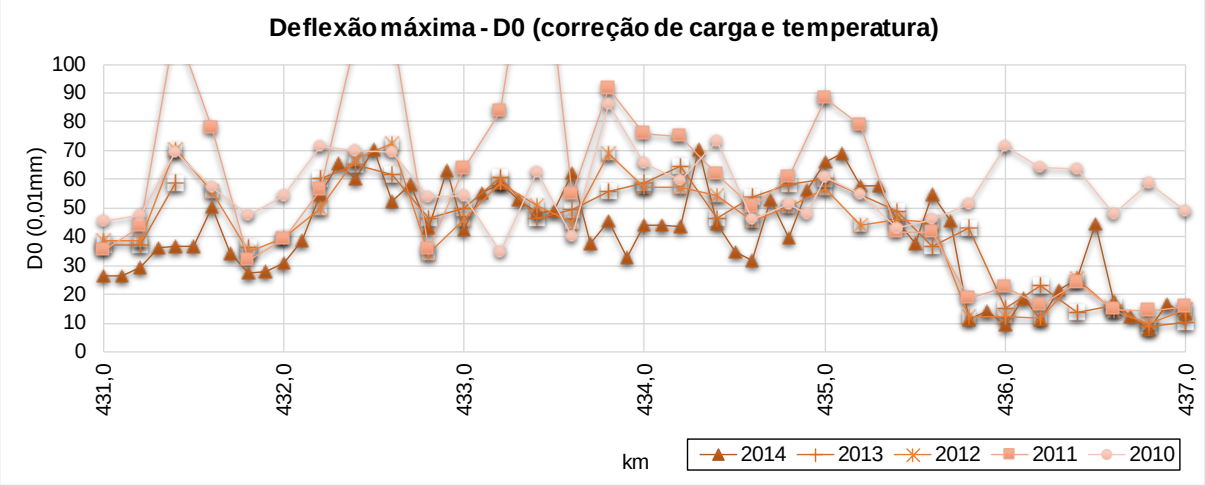
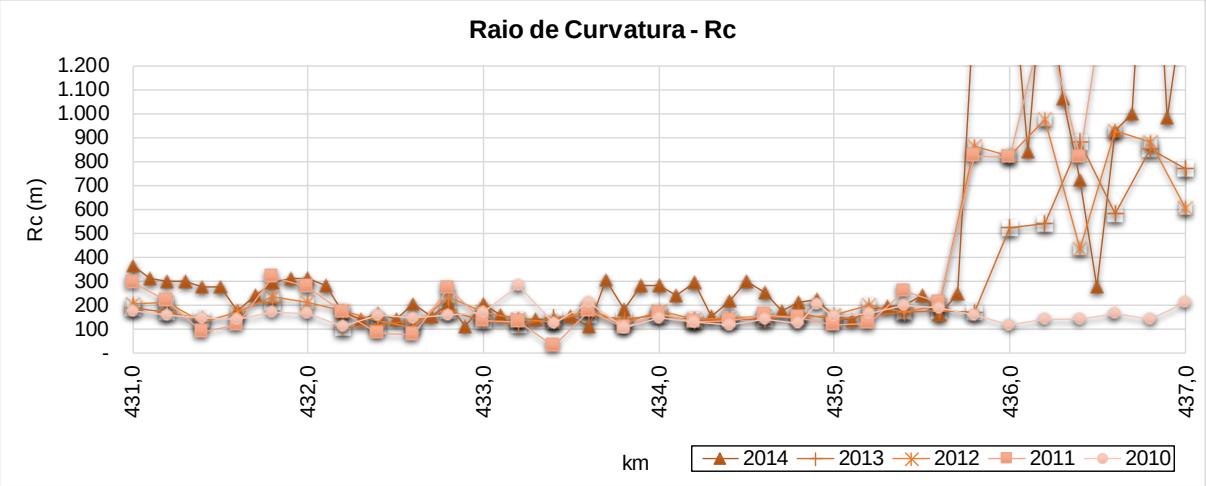


Figura 97: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





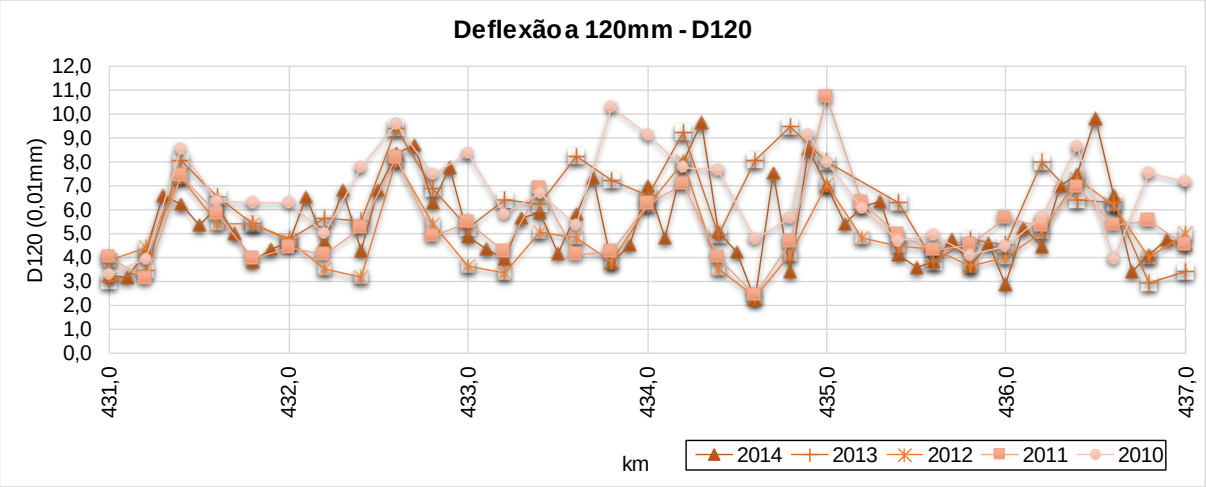
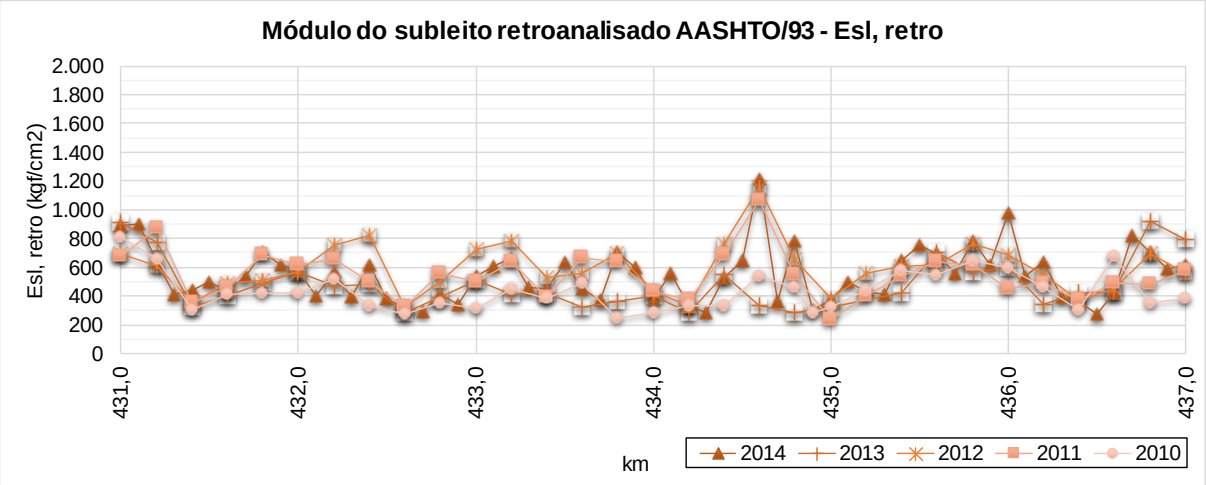


Figura 98: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 434 (pista norte)



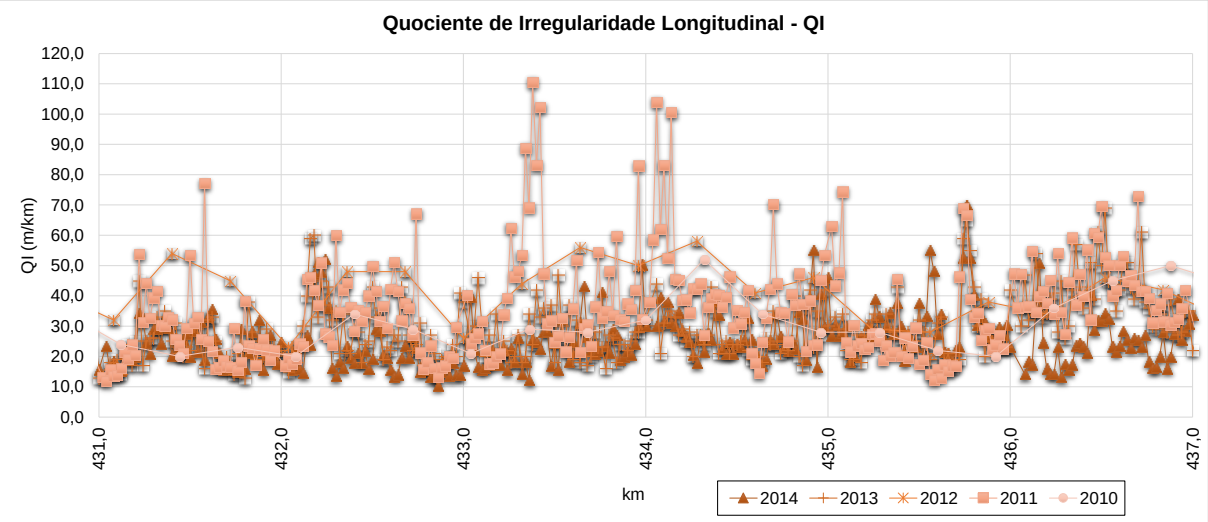


Figura 99: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 434 (pista norte)

433,5 434,5 DECRESCENTE

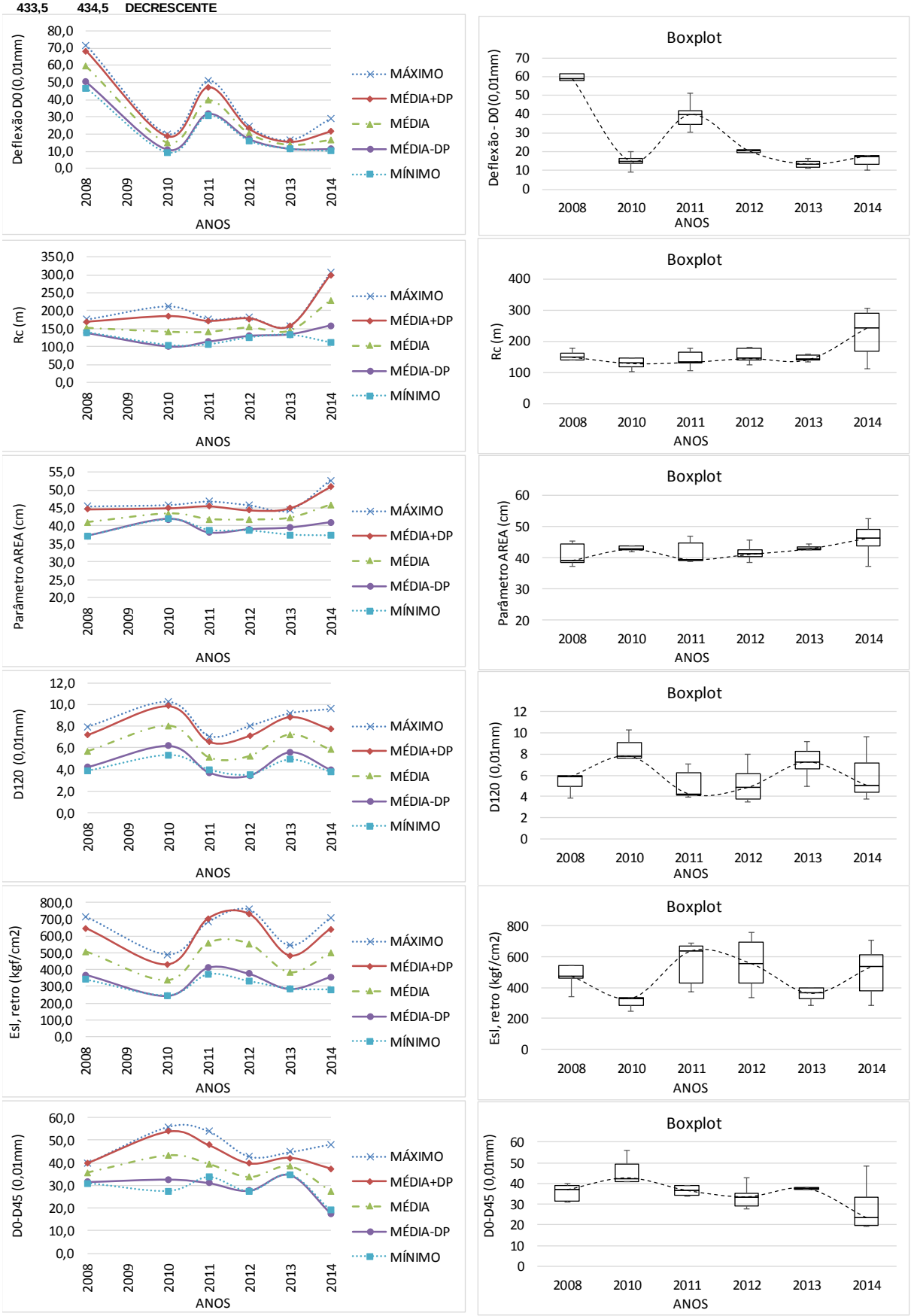


Figura 100: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 434)

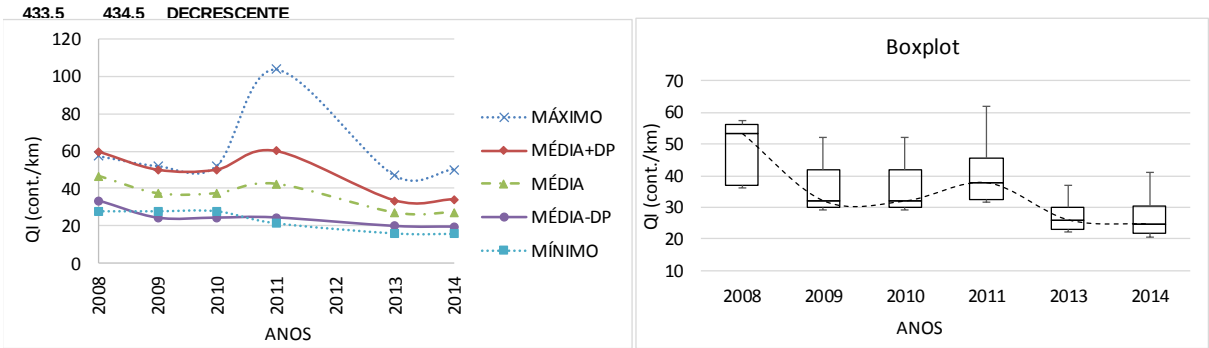


Figura 101: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 434)

8.9. Poço de inspeção do km 456 (Pista Norte)

A Figura 102 e Figura 103 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 456 (pista norte) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se uma região com predominância de gnaisse.

A Tabela 40 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento. Verifica-se que o pavimento sofreu uma intervenção de fresagem estrutural no ano de 2009.

A Tabela 41 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Foi encontrada uma camada cimentada na base do pavimento, conferindo características de comportamento de pavimento semirrígido.

A Tabela 42 e Tabela 43 apresentam os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito e camada de base granular. Enquanto a Figura 104 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que o material no campo está com densidade sensivelmente abaixo da densidade máxima relativa à energia intermediária e umidade próxima à ótima em relação à energia intermediária de compactação. Infere-se que o material tenha sido compactado na energia normal.

A Figura 105 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 106 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito, ilustrando o comportamento do subleito registrado através dos ensaios com FWD.

A Tabela 44 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 107 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo medido em laboratório e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade ótima e densidade máxima relativos à energia intermediária de compactação. Verificou-se uma convergência maior para os modelos o DER/SP – solos arenosos (2006), Powell et al. (1984), Lister (1987) e South Africa C.S.I.R.

A Figura 108 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade e densidade verificadas em campo no momento da abertura do poço de inspeção. Verificou-se uma convergência maior para os modelos da AASHTO/2002 (ME-PDG), Takeda (2006) e Rada & Witczak (1981).

A Figura 109 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma razoabilidade maior do modelo de Rada & Witczak (1981).

A Figura 110 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 111 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 112 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 113 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

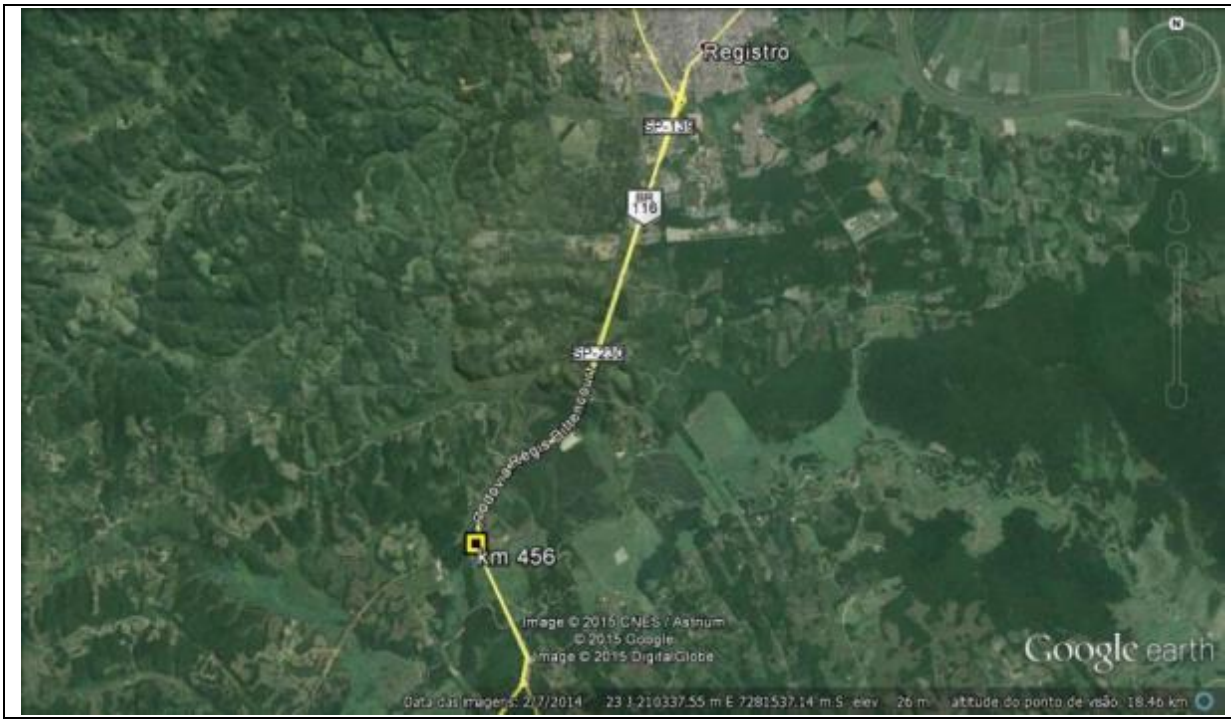
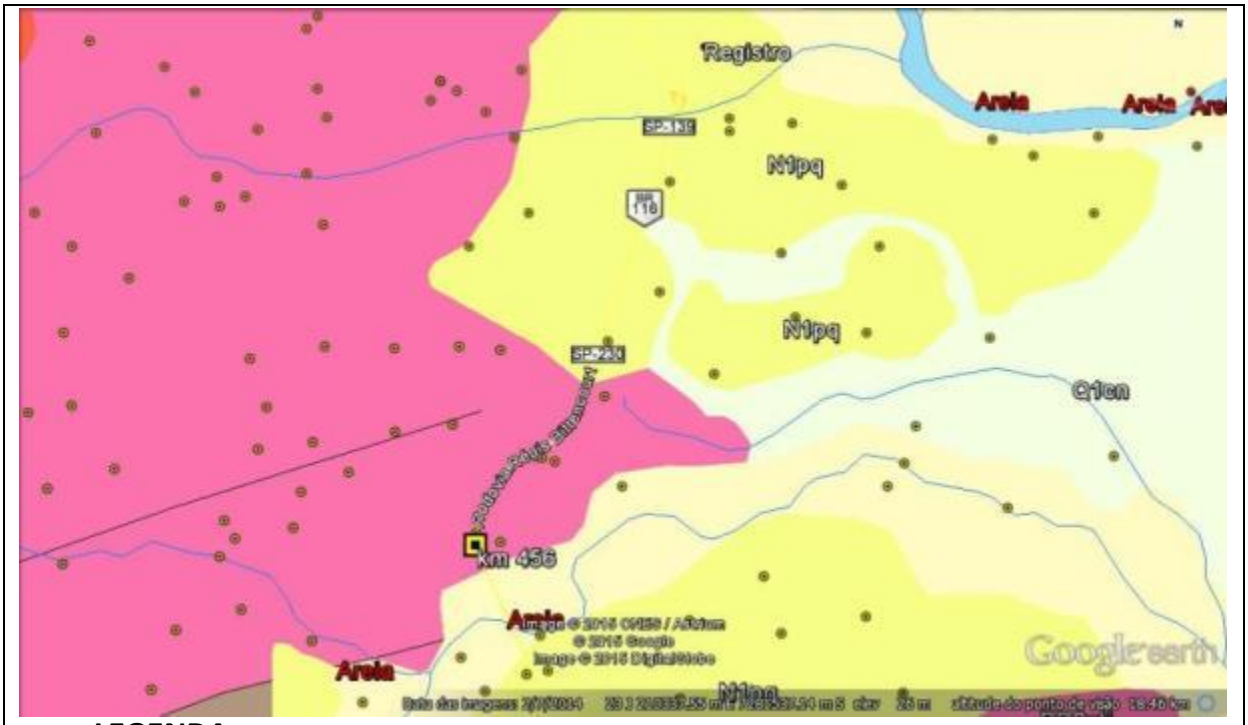


Figura 102: Localização do ponto sondado – km 456 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®



LEGENDA:

- **Atuba, Gnaisse Itapeúna: Gnaisse, Biotita monzogranito, Diorito, Granito gnaisse**
- **Cananéia: Depósitos de areia**
- **Afloramentos**
- **Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho**
- **Pariquera-Açu: Depósitos de areia, Conglomerado, Depósitos de argila, Lamito**

Figura 103: Mapa Geológico do local sondado – km 456 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 45: histórico de intervenções informado - km 456 (pista norte)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Interv.
456	455,949	456,046	FRESAGEM ESTRUTURAL	3,80	9,50	11/12/2009
	455,993	456,000	FRESAGEM FUNCIONAL	3,90	5,00	03/09/2011
	454,870	458,289	MICROREVESTIMENTO	4,20	1,20	05/10/2011
	455,790	456,000	FRESAGEM FUNCIONAL	3,70	5,05	18/12/2014

Tabela 46: Estrutura do pavimento – km 456 (pista norte)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
456	Norte	1	12,0	CA
		2	7,0	BASE BETUMINOSA
		3	17,0	BGTC
		4	18,0	BGS
		5	-	SL

Tabela 47: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

Resumo											
km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
456	BGS	29	83	53	19	36	273	777	482	187	39
456	SL	18	31	22	4	19	727	1.296	1.083	168	16

Tabela 48: Estatística dos resultados de determinação do módulo da camada de BGS

Resumo						
km	Material	$E_{sb,retro}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
456	BGS	163	969	464	304	66

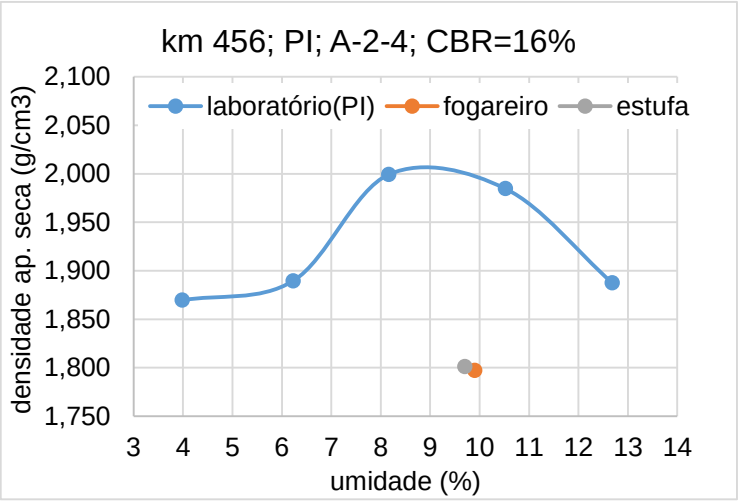
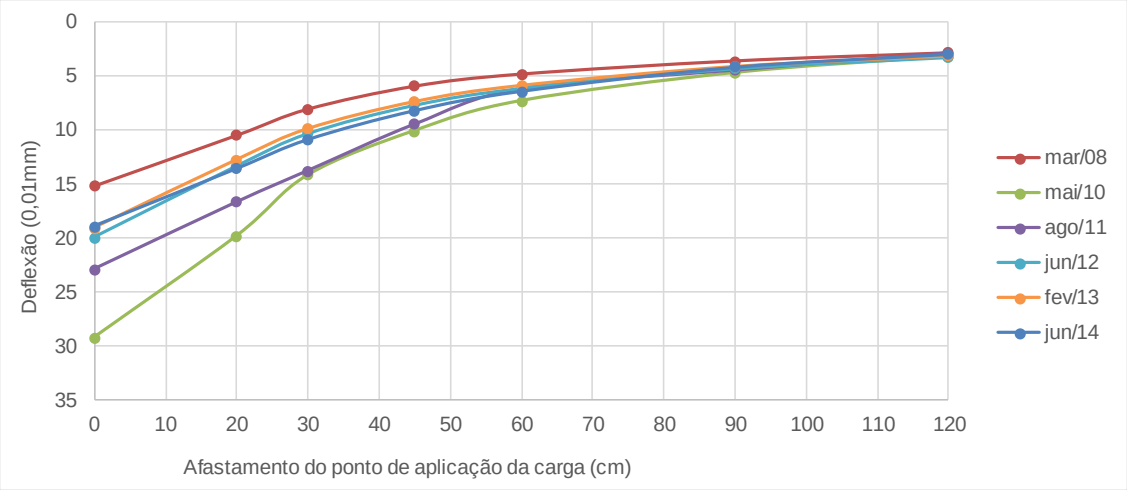


Figura 104: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 456, norte)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Er2 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esb (kgf/cm²)	Esl (kgf/cm²)*	Eslx0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO/ 93)
Espessuras (cm)			12,0	7,0	17,0	18,0	-	-	
Materiais			CA	CAM. BETUM.	BGTC	BGS	SL	SL	SL
mar/08	-	-	55.000	2.000	43.500	1.050	3.200	1.056	926
mai/10	31,0	32,0	20.000	1.200	15.000	1.500	3.000	990	861
ago/11	16,0	21,0	50.000	1.200	15.000	1.500	3.000	990	959
jun/12	16,0	18,0	30.000	4.000	15.000	2.500	3.000	990	1.186
fev/13	35,0	43,0	30.000	4.000	15.000	2.500	3.000	990	877
jun/14	19,0	21,0	40.000	5.000	15.000	1.000	3.500	1.155	869

Figura 105: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 456 (pista norte)

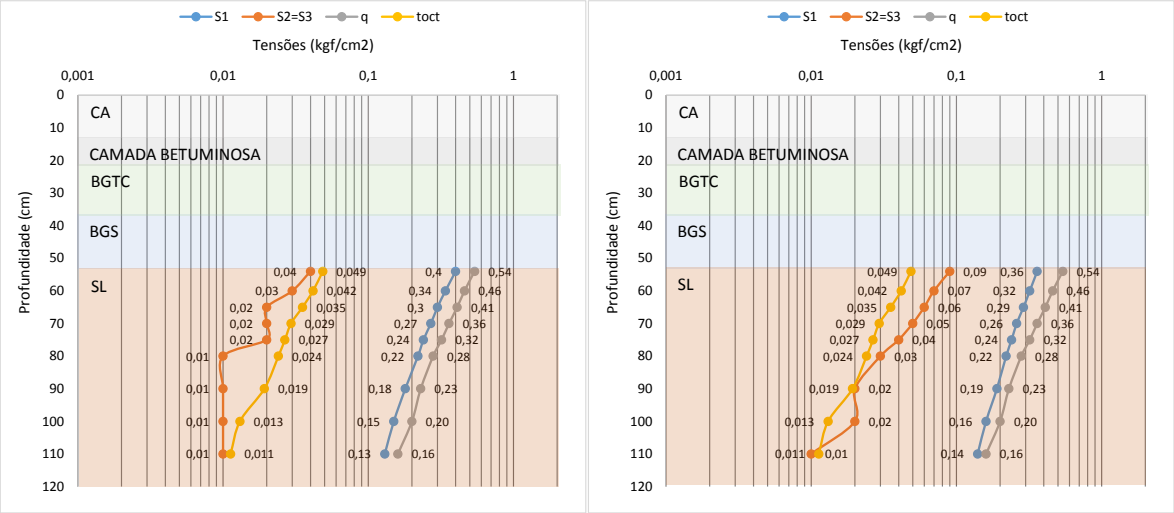


Figura 106: Tensões no subleito calculadas para (a) fev/2013 e (b) jun/2014

Tabela 49: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 456

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm²
1	**BR-116**	**456,0**	NORTE	Subleito	9,3	-	2,000	I	225	0,160	0,27	139	-0,010	0,00	1.136
2	**BR-116**	**456,0**	NORTE	Silte argiloso variegado	18,5	-	1,630	N	75	0,050	0,03	56	-0,060	0,05	606

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	**BR-116**	**456,0**	NORTE	Subleito	100	100	100	99	97	95	87	79	55	39	31			27,0	9,0	0	A-2-4
2	**BR-116**	**456,0**	NORTE	Silte argiloso variegado	100	100	100	100	100	100	99	92	77	61	38	38	4	36,1	16,1	2	A-6

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	**BR-116**	**456,0**	NORTE	Subleito	I	2,000	8,2	16	0,7	NS'-NG'	2,55	9,7	1,801
2	**BR-116**	**456,0**	NORTE	Silte argiloso variegado	N	1,630	18,5	5	3,4	NS'/NA'	**ND**	**ND**	**ND**

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm3)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	**BR-116**	**456,0**	NORTE	Subleito	31	24	24	9	13	2,55	27,5	75,8	89,9
2	**BR-116**	**456,0**	NORTE	Silte argiloso variegado	38	39	15	7	1	2,60	59,5	80,8	ND

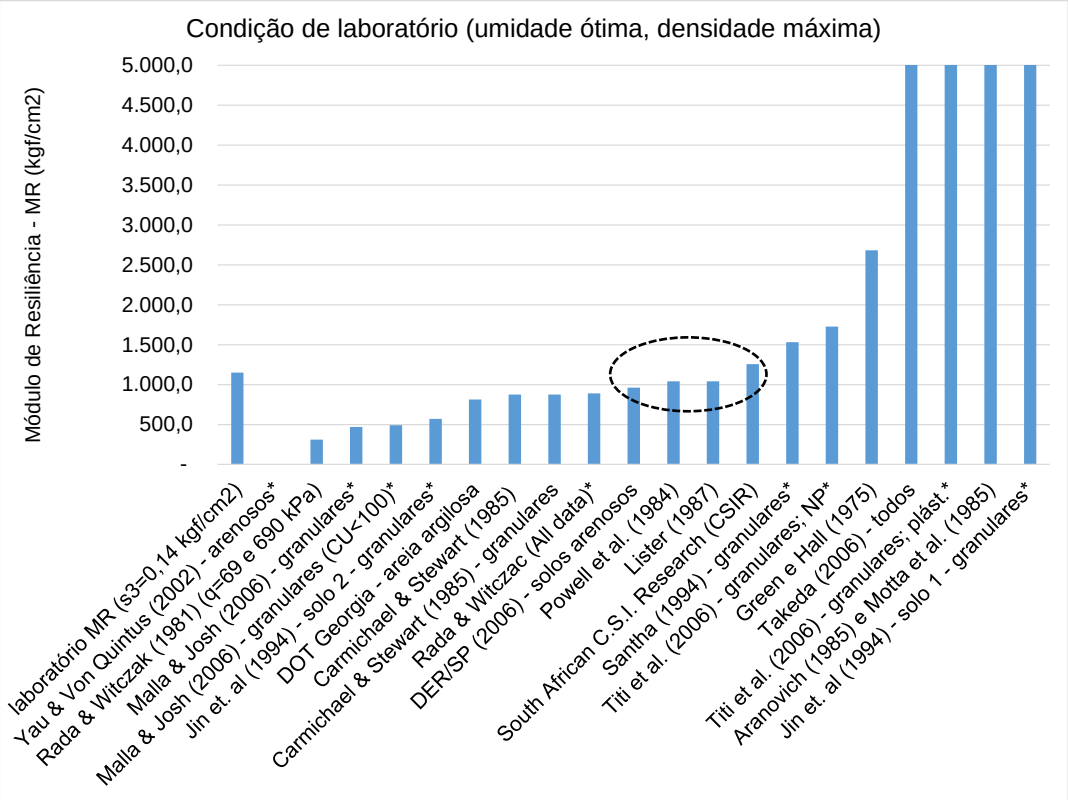


Figura 107: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

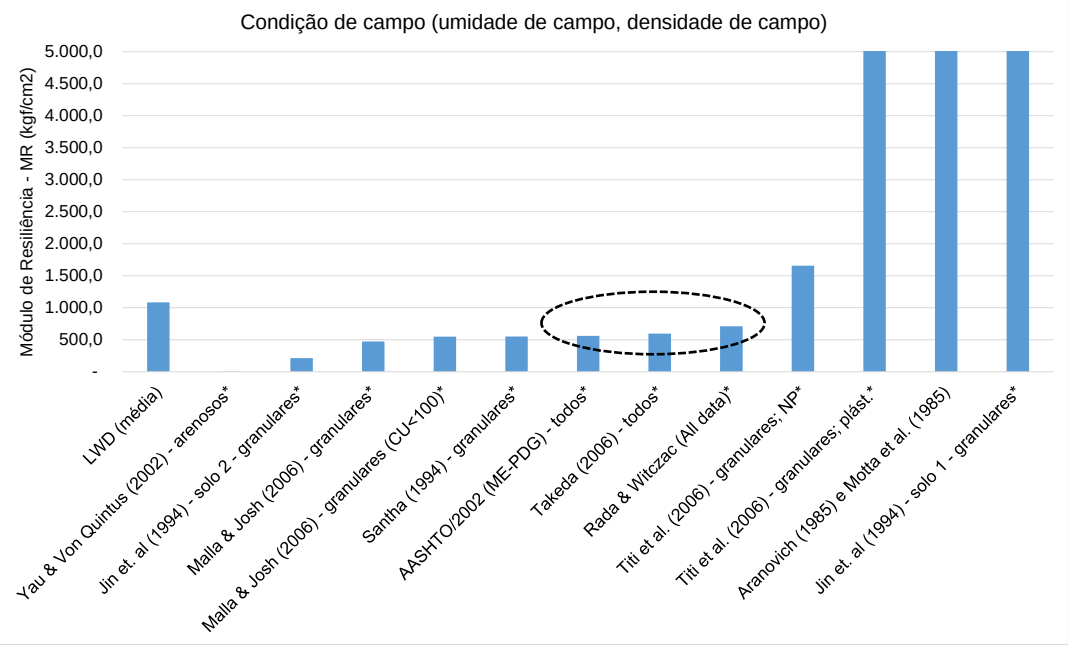


Figura 108: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

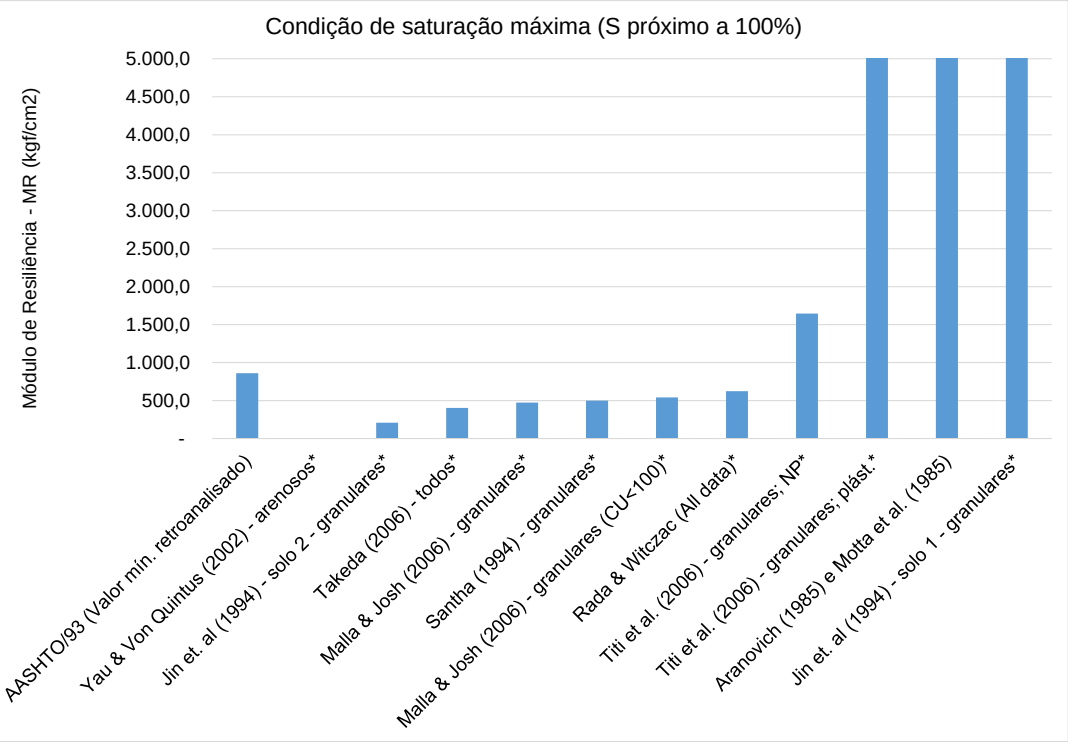
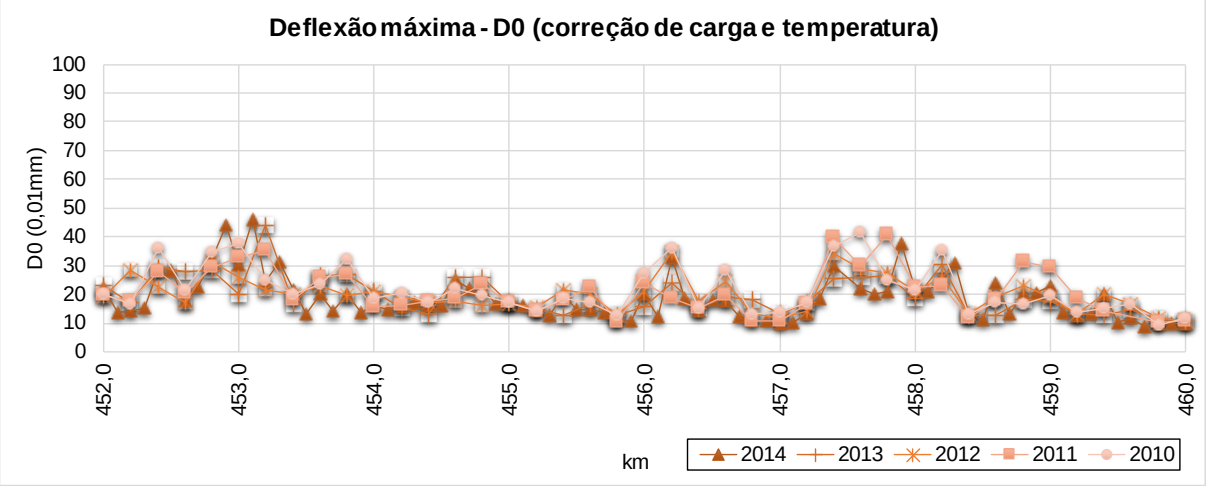
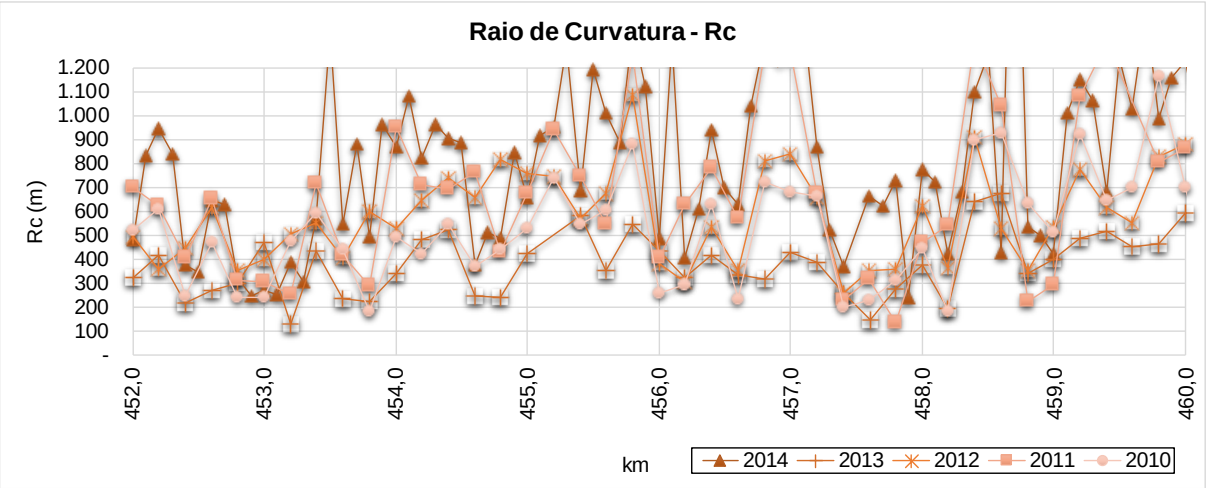


Figura 109: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





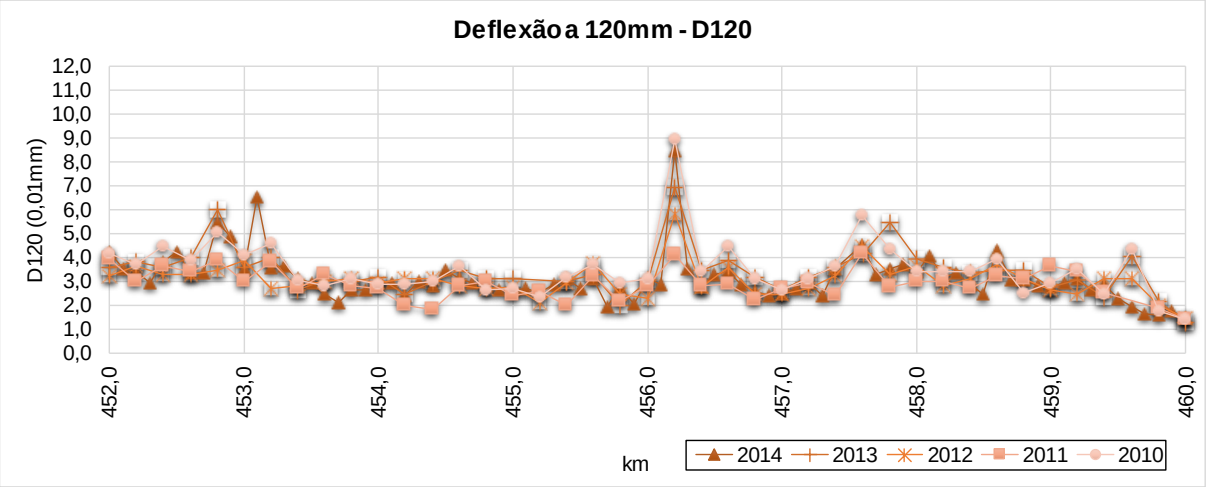
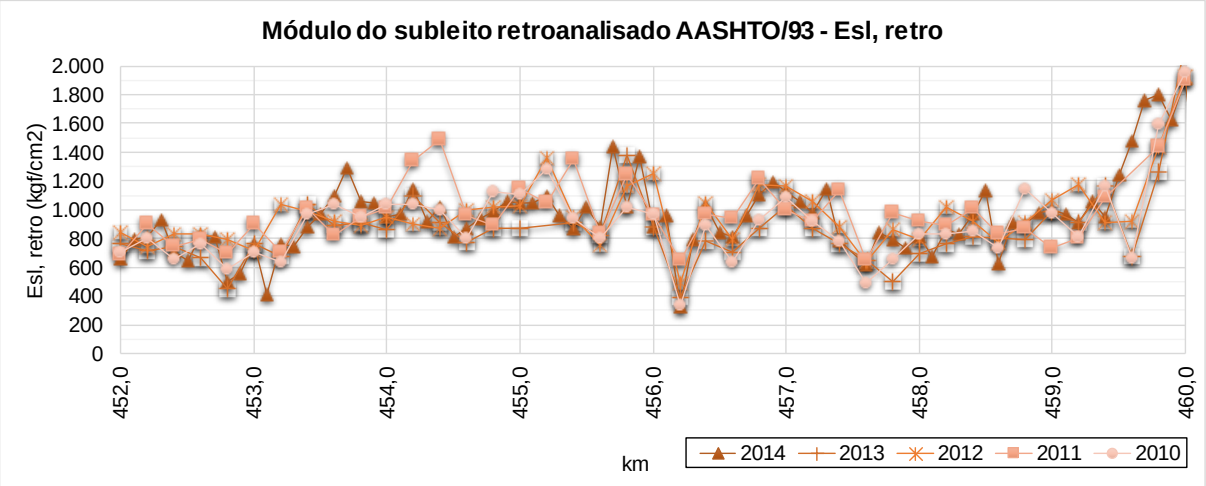


Figura 110: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 456 (pista norte)



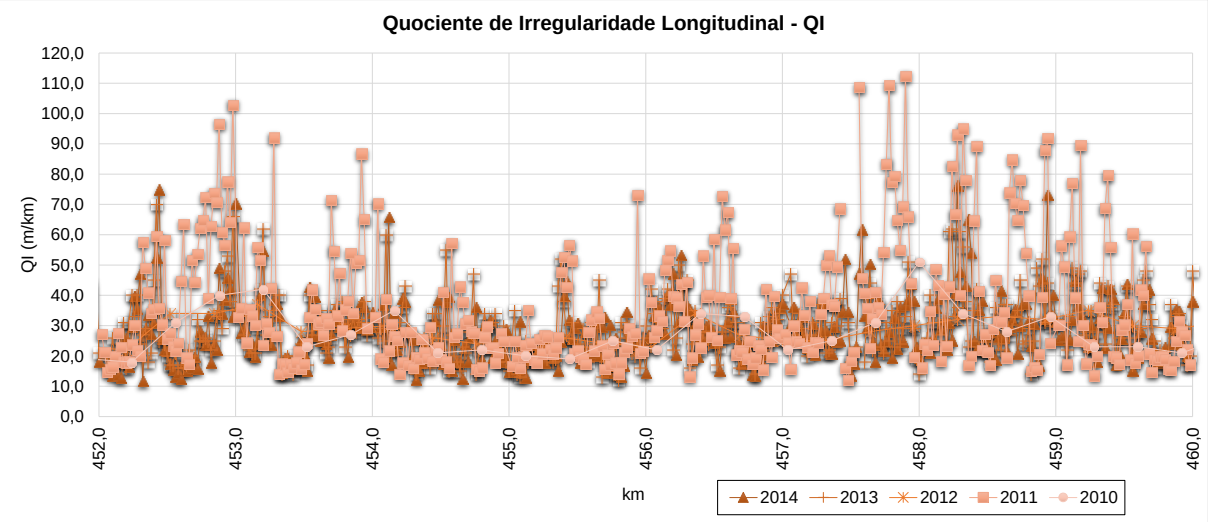


Figura 111: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 456 (pista norte)

455,5 456,5 DECRESCENTE

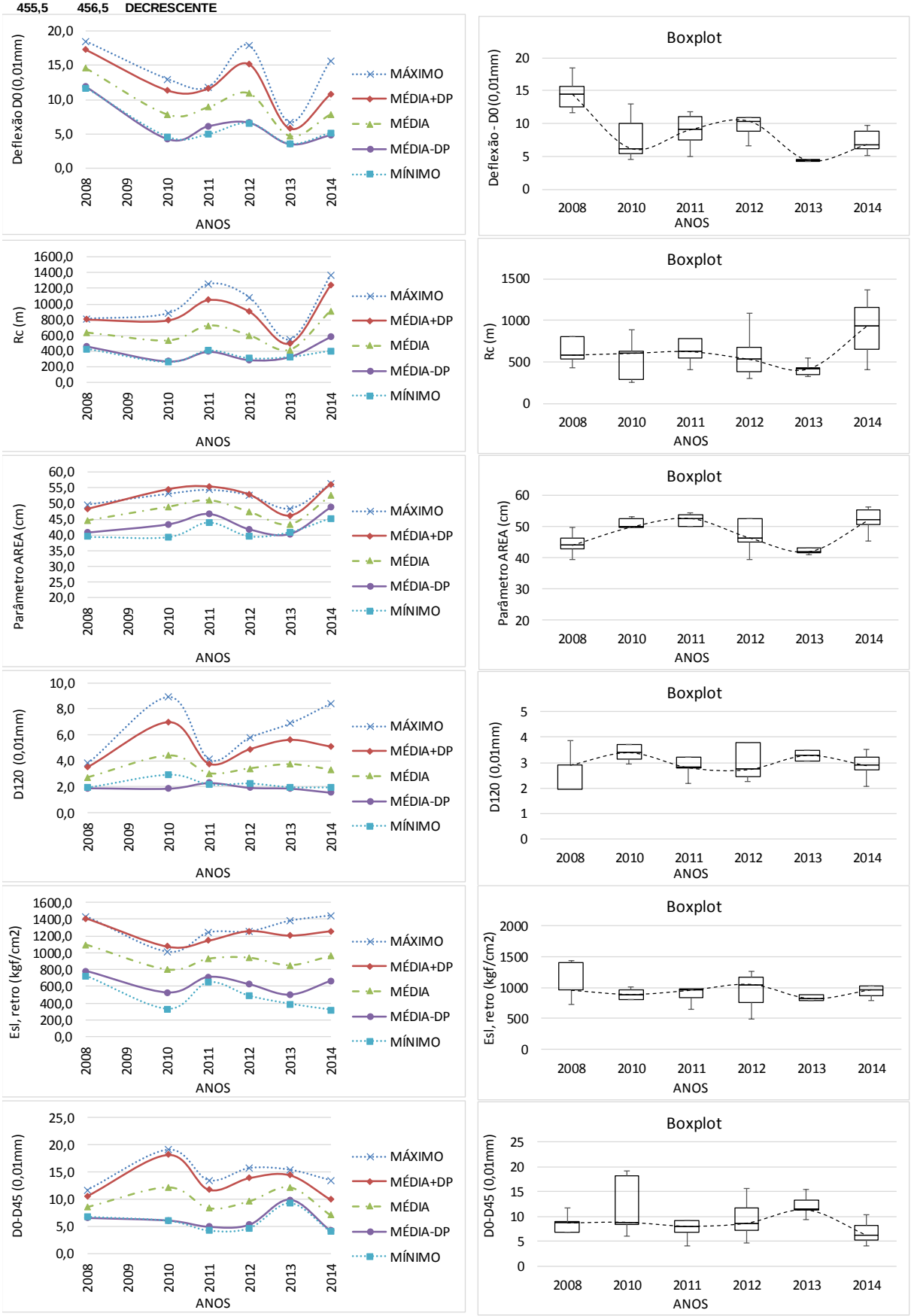


Figura 112: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 456)

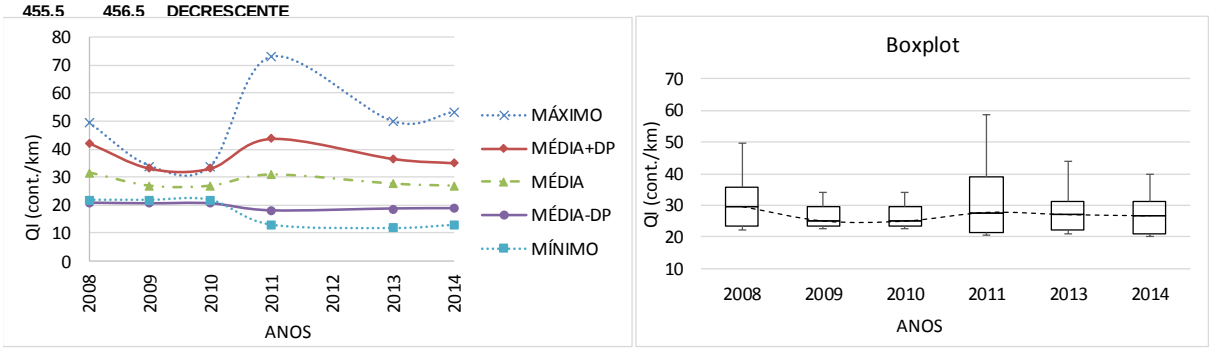


Figura 113: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 456)

8.10. Poço de inspeção do km 460 (Pista Norte)

A Figura 114 e Figura 115 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 460 (pista norte) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se uma região de depósito de areia e argila.

A Tabela 50 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento. Verifica-se que o pavimento sofreu uma intervenção de fresagem estrutural no ano de 2009.

A Tabela 51 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Trata-se de pavimento flexível, confeccionado com base granular.

A Tabela 52 e Tabela 53 apresentam os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito e camada de base granular. Enquanto a Figura 116 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que o material no campo está com densidade e teor de umidade sensivelmente abaixo da condição ótima de compactação relativa à energia intermediária. Infere-se que o material tenha sido compactado na energia normal e que se encontrava relativamente seco na ocasião da abertura do poço.

A Figura 117 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 118 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito, ilustrando o comportamento do subleito registrado através dos ensaios com FWD.

A Tabela 54 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 119 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo medido em laboratório e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade ótima e densidade máxima relativos à energia intermediária de compactação. Não se verificou convergência com nenhum dos modelos apresentados.

A Figura 120 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade e densidade verificadas em campo no momento da abertura do poço de inspeção. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Berg et al. (1996) e Malla & Josh – solos finos (2006).

A Figura 121 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma razoabilidade maior dos modelos de Pezo & Hudson – solos coesivos (1994) e AASHTO/2002.

A Figura 122 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 123 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 124 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 125 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

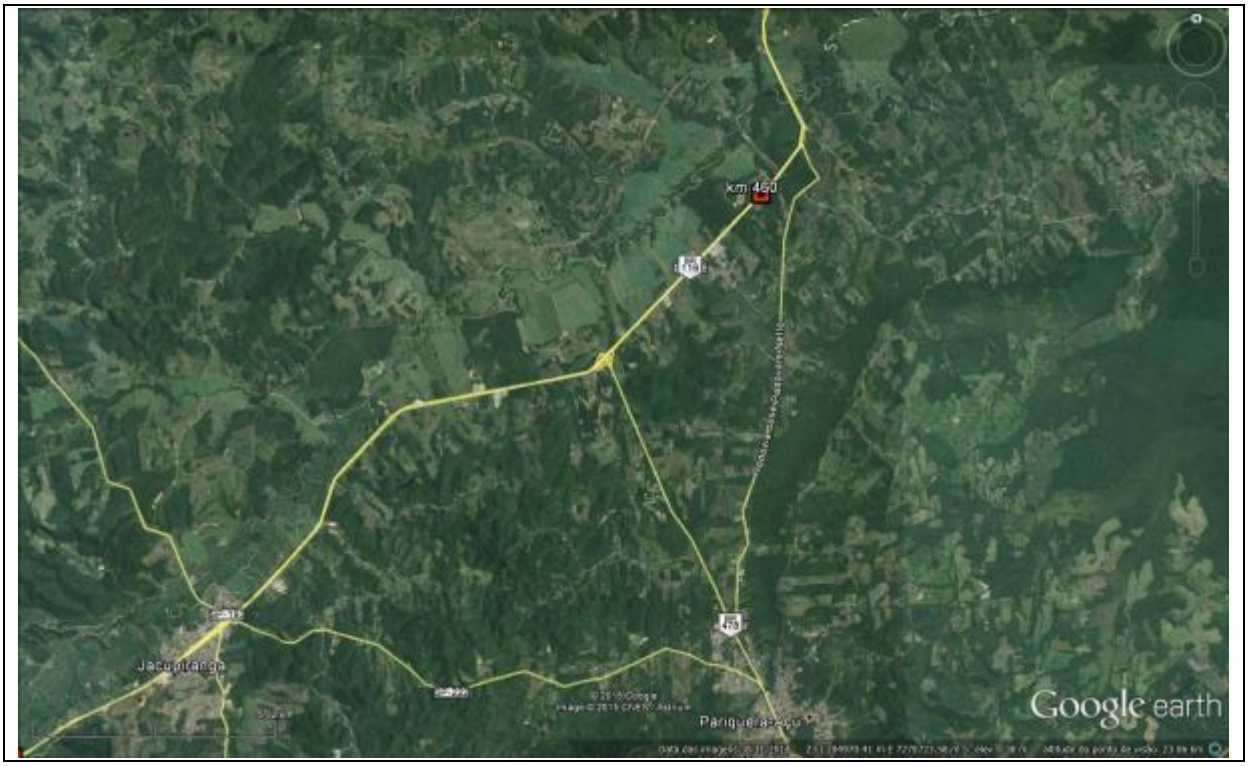
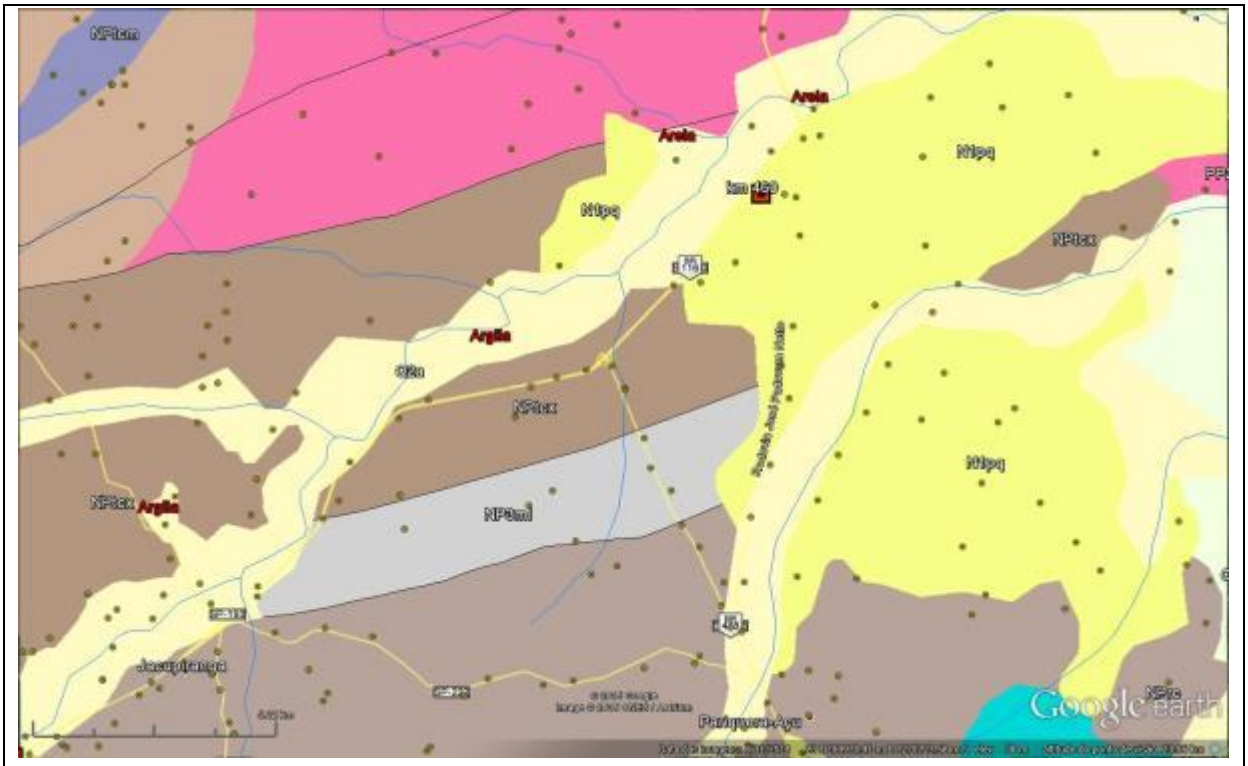


Figura 114: Localização do ponto sondado – km 460 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®



LEGENDA:

- Pariquera-Açu: Depósitos de areia, Conglomerado, Depósitos de argila, Lamito
- Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho
- Turvo-Cajati, unidade de xistos: Metasiltito, Metaritmito, Anfibólio xisto, Filito, Xisto
- Rio das Cobras: Muscovita biotita xisto, Metasiltito, Xisto, Metarenito
- Turvo-Cajati, unidade paragnáissica: Paragnaisse, Anfibólio xisto, Biotita gnaisse
- Atuba, unidade de gnaisses bandados: Gnaisse, Biotita gnaisse, Hornblenda gnaisse, Granito gnaisse
- Granito Rio Guaraú: Sienogranito, Álcali-feldspato granito
- Batólito Paranaguá, unidade de gnaisses e migmatitos: Cataclasito, Milonito, Biotita gnaisse, Migmatito, Gnaisse
- Rochas miloníticas: Protomilonito, Milonito, Ultramilonito
- Intrusivas alcalinas: Peridotito, Piroxenito
- Afloramentos

Figura 115: Mapa Geológico do local sondado – km 460 (Pista Norte)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 50: histórico de intervenções informado - km 460 (pista norte)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Interv.
460	459,987	460,006	FRESAGEM ESTRUTURAL	1,00	6,00	01/12/2009
	457,625	460,300	MICROREVESTIMENTO	4,40	1,20	19/01/2010
	459,945	460,005	FRESAGEM FUNCIONAL	3,90	5,00	18/08/2011
	459,416	461,708	MICROREVESTIMENTO	4,20	1,20	29/09/2011
	459,857	460,112	MICROREVESTIMENTO	4,20	1,20	08/05/2013

Tabela 51: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 460 (pista norte)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
460	Norte	1	19,0	CA
		2	40,0	BGS
		3	-	SL

Tabela 52: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
460	BGS	27	35	31	3	10	648	840	747	78	10
460	SL	60	72	65	4	6	315	378	348	22	6

Tabela 53: Estatística dos resultados de determinação do módulo da camada de BGS

km	Material	$E_{sb,retro}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
460	BGS	1.001	1.558	1.282	228	18

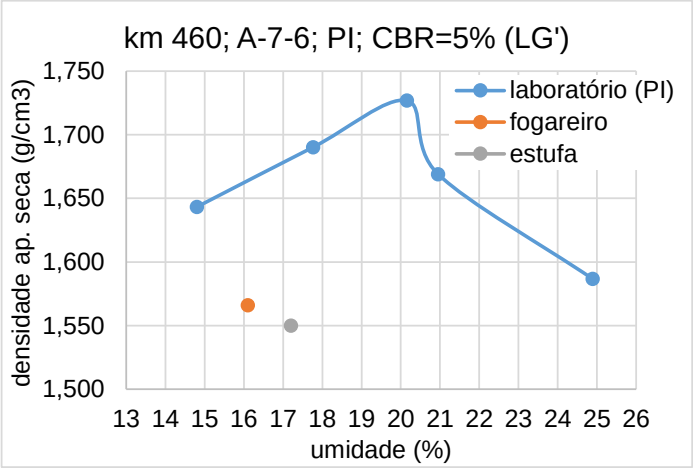
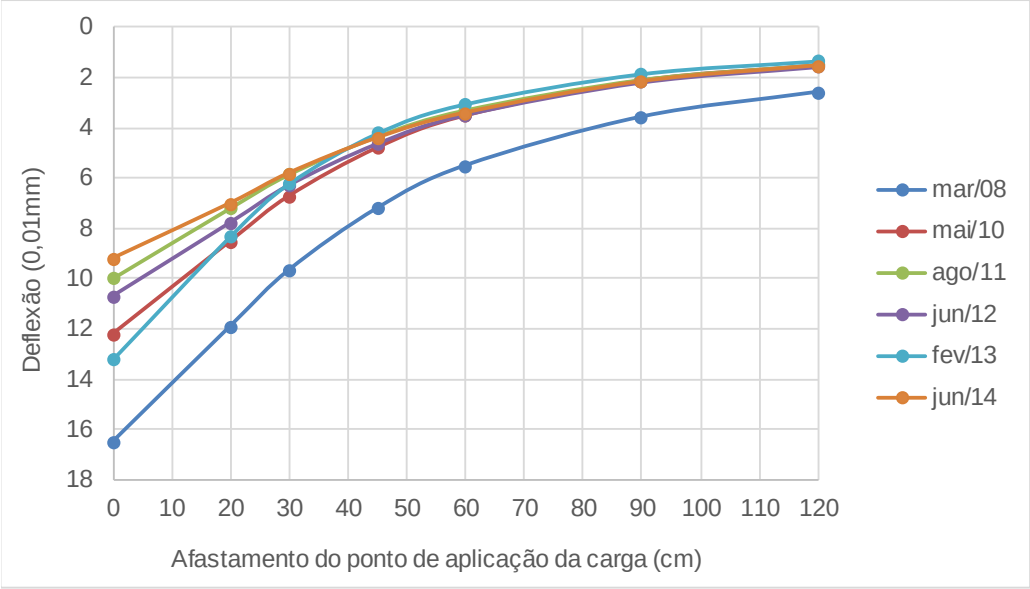


Figura 116: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 460, norte)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esl (kgf/cm²)	Esl x 0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO/ 93)
Espessuras (cm)			**19,0**	**40,0**	**-**	**-**	**-**
Materiais			**CA**	**BGS**	**SL**	**SL**	**SL**
mar/08	* Provável estrutura antiga de pavimento flexível						1.382
mai/10	20,0	27,0	41.000	5.000	6.200	2.046	1.874
ago/11	16,0	21,0	53.000	6.200	6.000	1.980	1.911
jun/12	18,0	20,0	50.000	5.500	5.800	1.914	1.800
fev/13	35,0	42,0	27.000	5.500	6.800	2.244	2.112
jun/14	17,0	20,0	75.000	6.000	6.200	2.046	1.850

Figura 117: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 460 (pista norte)

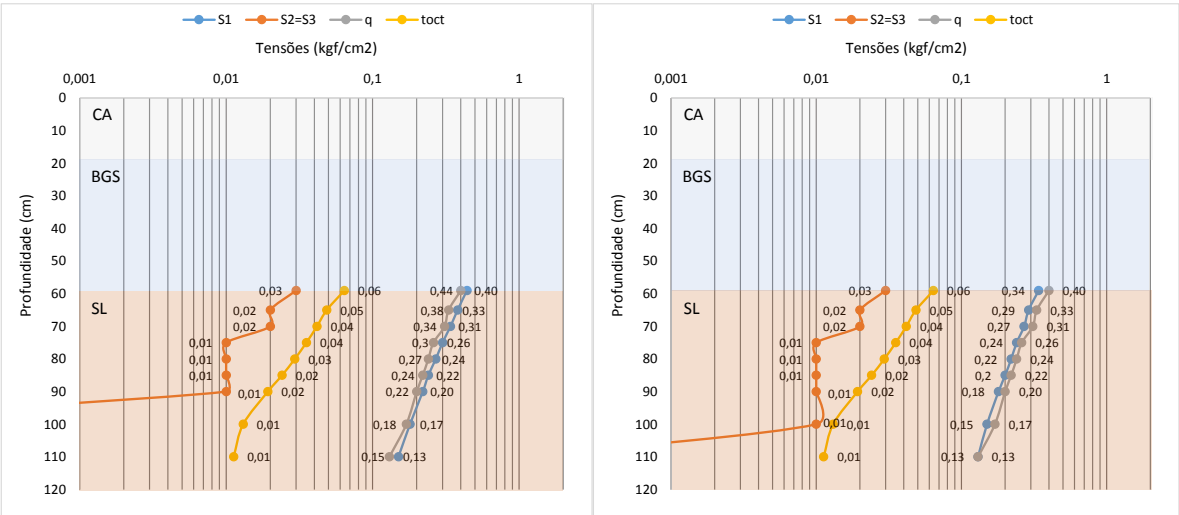


Figura 118: Tensões no subleito calculadas para (a) fev/2013 e (b) jun/2014

Tabela 54: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 460

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)											
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm²	
1a	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	19,3	-	1,730	I	278	-0,284	0,54	327	-0,287	0,82	9.344	
1b	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	19,3	-	1,730	I	88	-0,450	0,73	128	-0,410	0,88	6.008	
2	BR-116	460,0	NORTE	Argila amarela	23,8	-	1,532	N	54	-0,470	0,58	68	-0,490	0,92	4.015	

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	100	100	100	100	99	98	97	94	79	64	55			44,0	15,7	7	A-7-6
2	BR-116	460,0	NORTE	Argila amarela	100	100	100	100	100	100	99	87	75	68	43	43	15	53,2	25,2	6	A-7-6

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	I	1,730	20,2	5	0,3	LG'	2,696	17,2	1,550
2	BR-116	460,0	NORTE	Argila amarela	N	1,532	23,8	7	0,1	LG'	ND	ND	ND

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm3)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	55	24	15	3	3	2,70	55,8	97,3	83,0
2	BR-116	460,0	NORTE	Argila amarela	43	32	11	12	1	2,60	69,7	88,8	ND

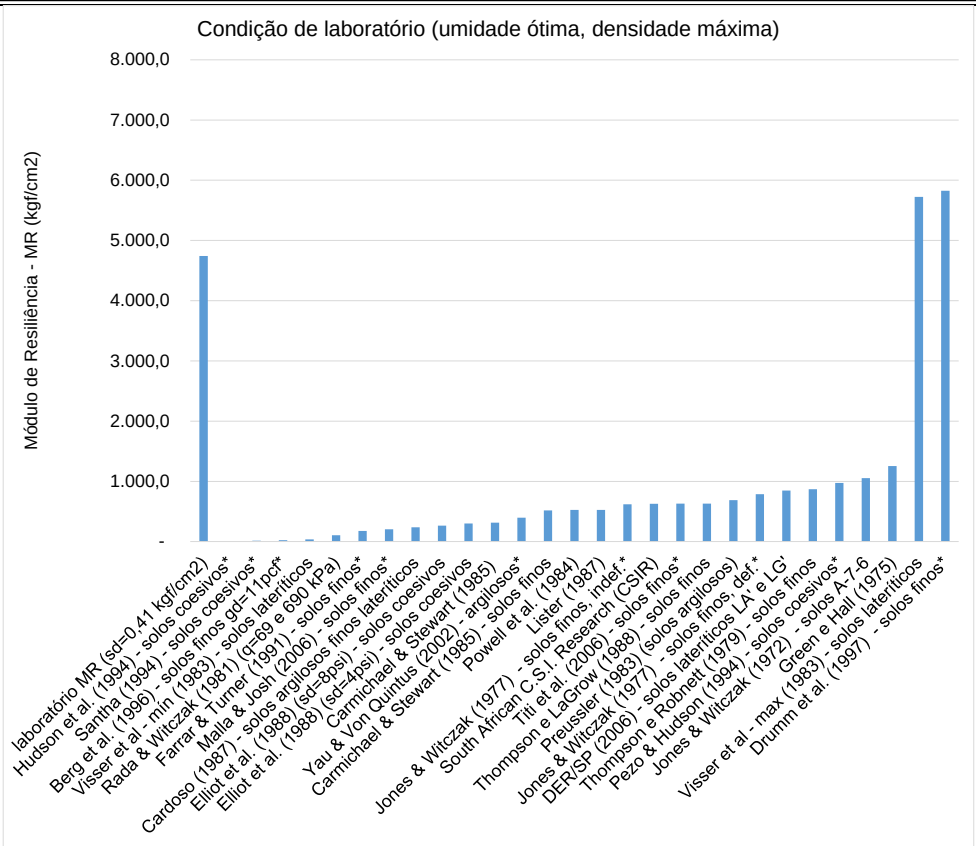


Figura 119: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

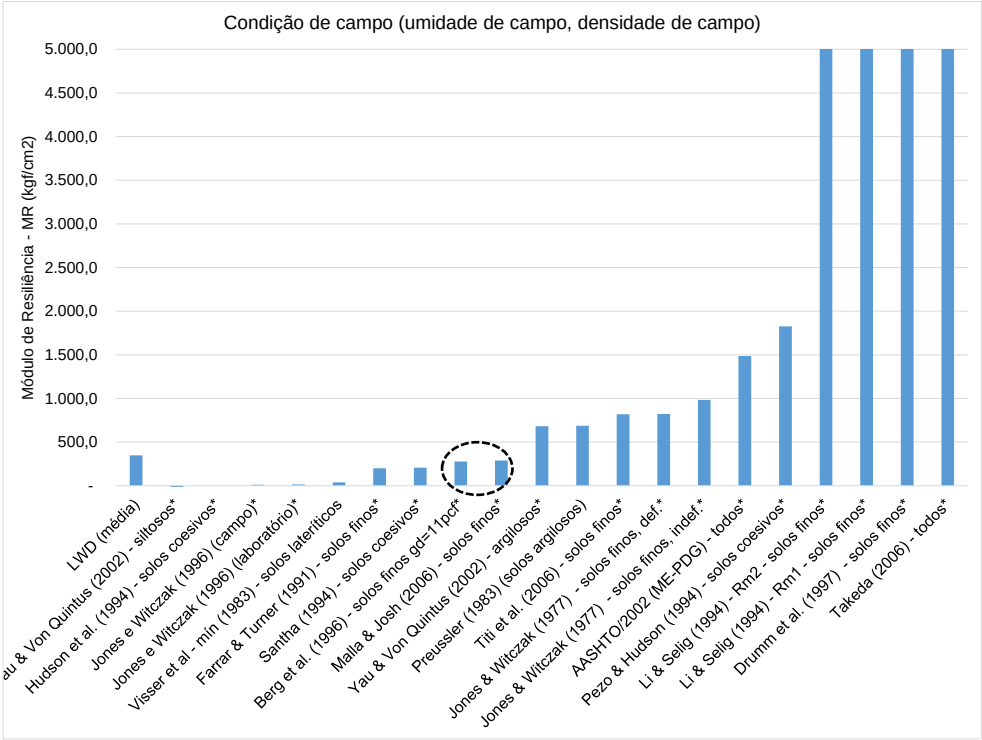


Figura 120: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

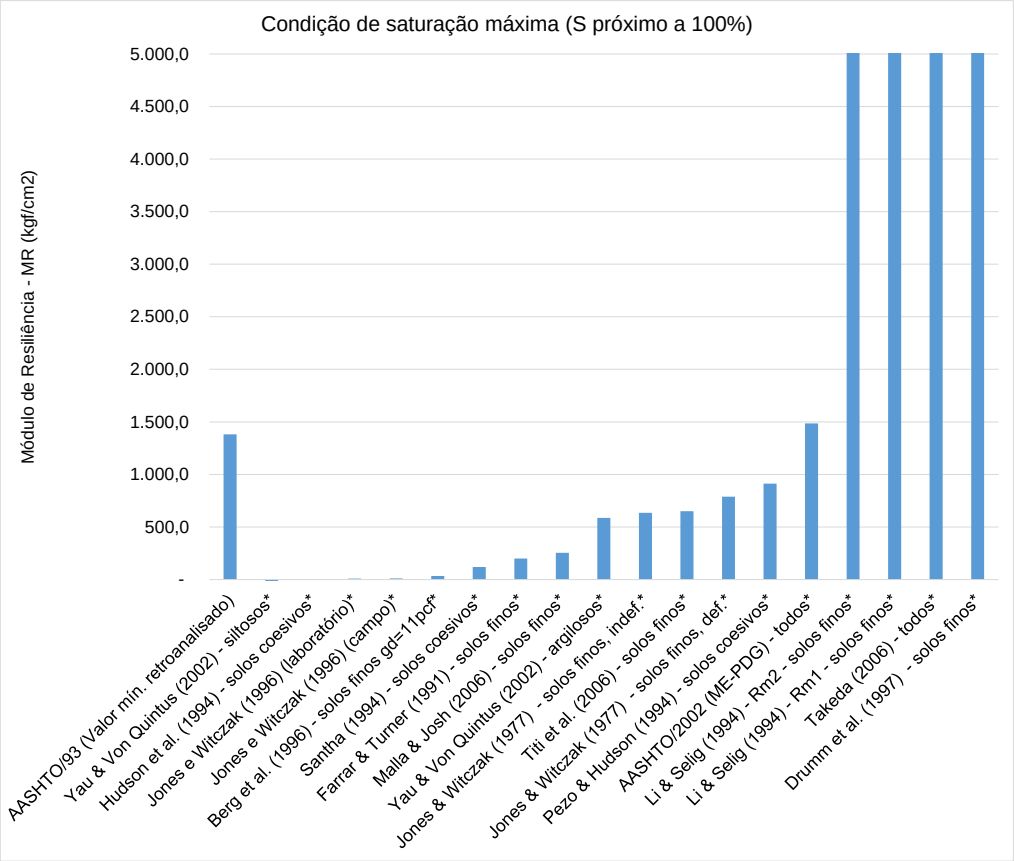


Figura 121: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)

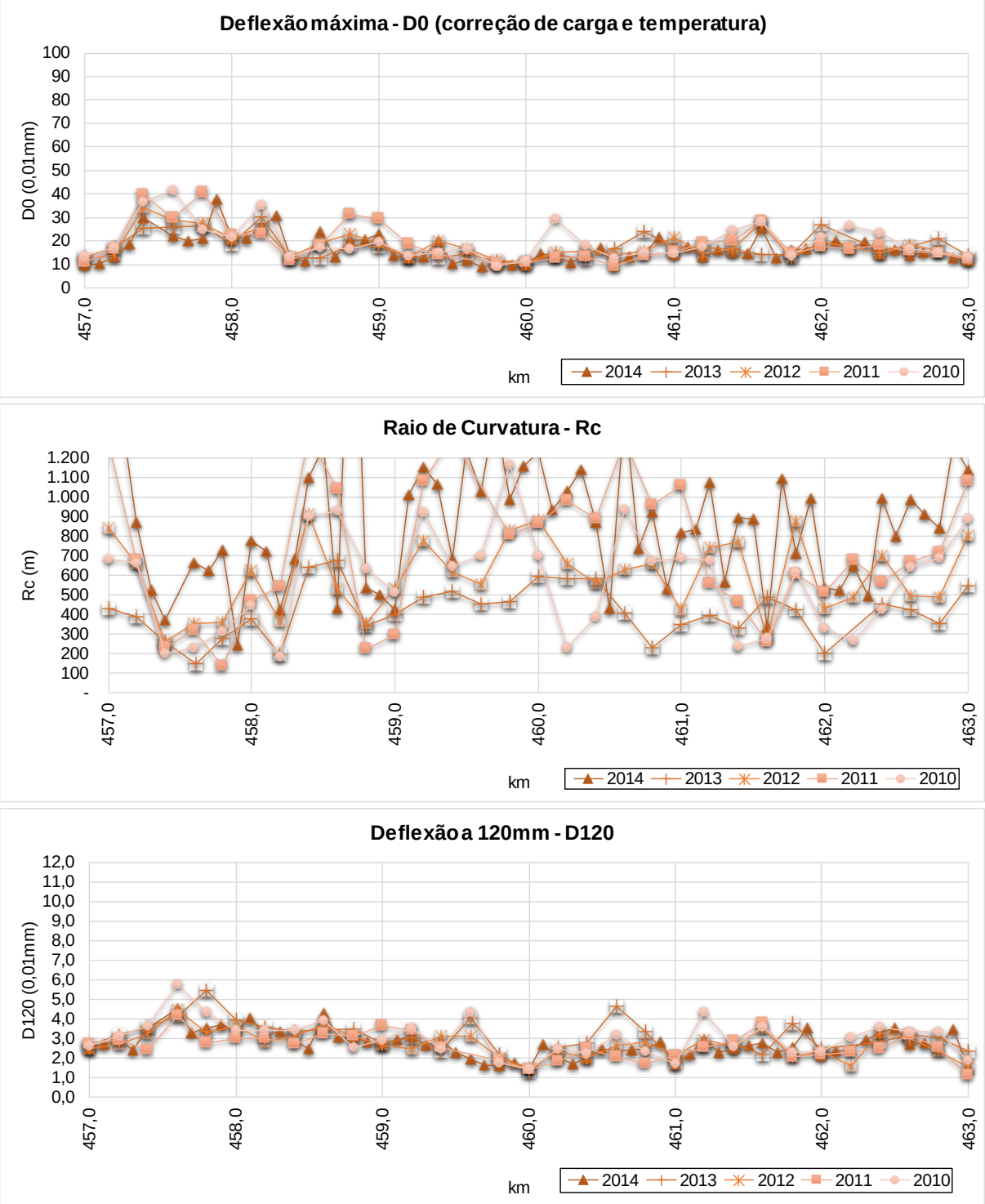
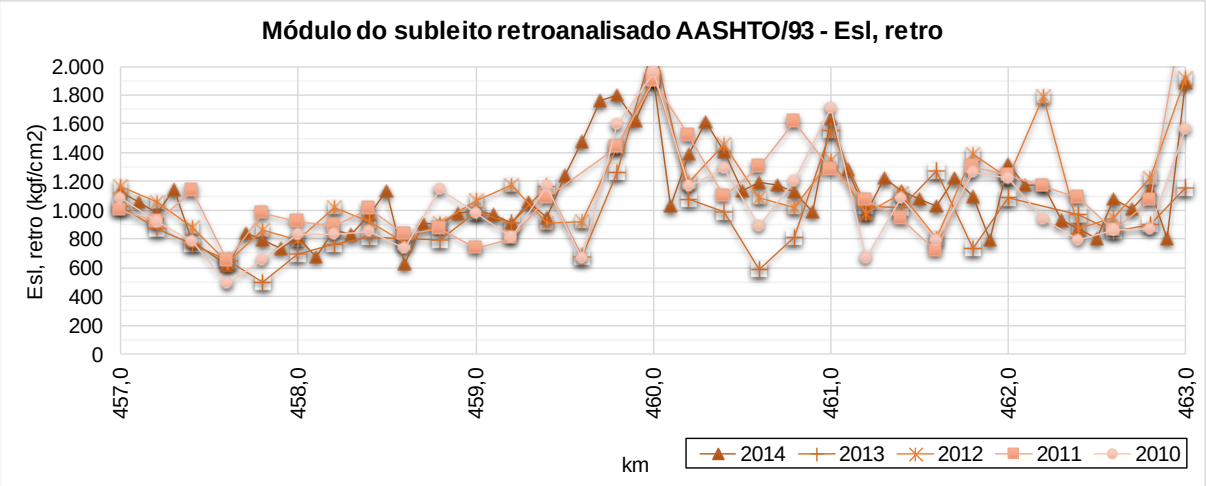


Figura 122: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 460 (pista norte)



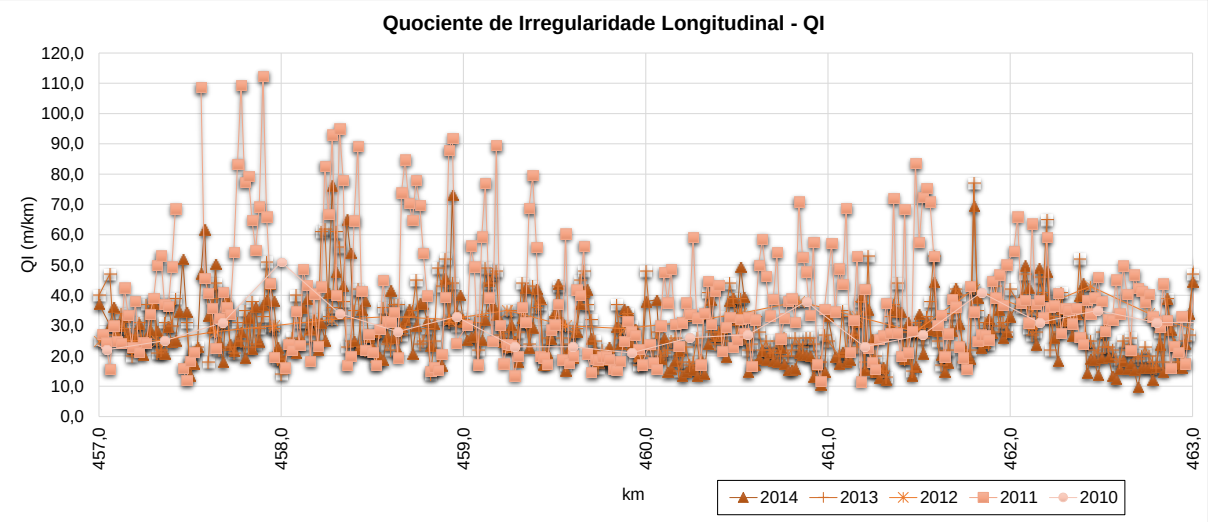


Figura 123: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 460 (pista norte)

459,8 460,2 DECRESCENTE

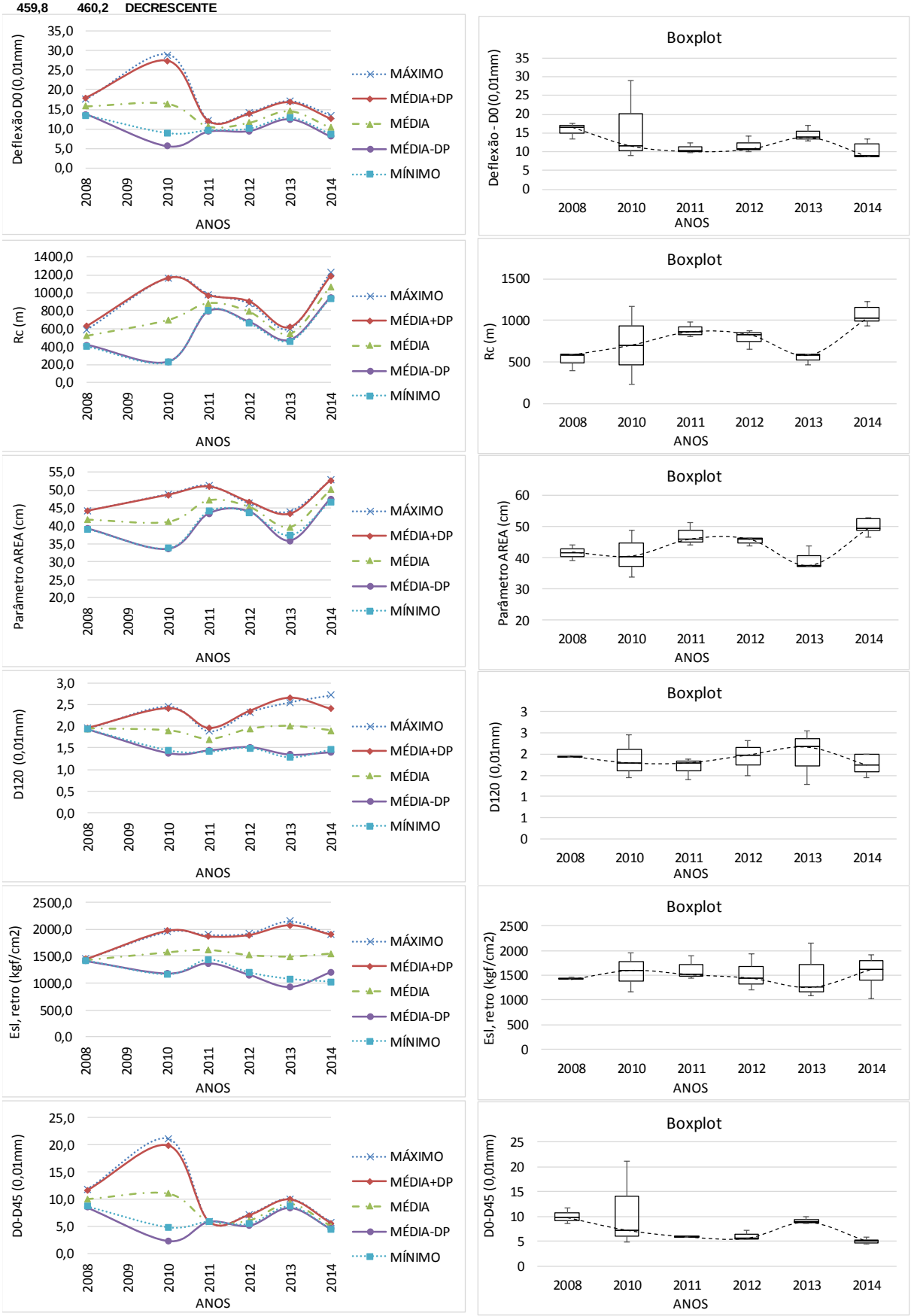


Figura 124: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 402)

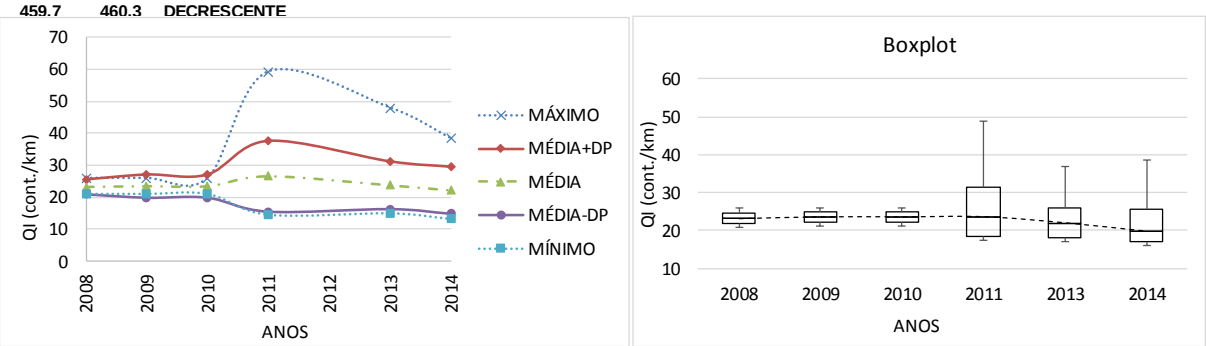


Figura 125: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 402)

8.11. Poço de inspeção do km 482 (Pista Sul)

A Figura 126 e Figura 127 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 482 (pista sul) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se uma região de depósito de areia e cascalho.

A Tabela 55 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento.

A Tabela 56 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Trata-se de pavimento composto basicamente por materiais asfálticos (revestimento e base).

A Tabela 57 apresenta os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito. Enquanto a Figura 128 apresenta o gráfico comparativo das densidades e umidades obtidas em campo e em laboratório (curva de compactação de laboratório versus ensaios de umidade e densidade in situ). Verifica-se que o material no campo está com densidade sensivelmente superior à densidade máxima relativa à energia intermediária e teor de umidade sensivelmente superior à condição de umidade ótima da mesma energia. Infere-se que o material tenha sido compactado originalmente na energia modificada e que se encontrava com grau de saturação elevado na ocasião da abertura do poço.

A Figura 129 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 130 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito, ilustrando o comportamento do subleito registrado através dos ensaios com FWD.

A Tabela 58 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 131 apresenta um gráfico contendo os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura para a condição de umidade ótima (energia intermediária). Como não foram realizados os ensaios de módulo de laboratório, não foi possível realizar comparações.

A Figura 132 apresenta um gráfico comparativo entre o valor de módulo in situ medido com LWD e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de umidade e densidade verificadas em campo no momento da abertura do poço de inspeção. Verificou-se uma convergência maior para os modelos de Malla & Joshi (2006).

A Figura 133 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma razoabilidade maior dos modelos de Malla & Joshi (2006).

A Figura 134 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 135 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 136, apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 137, Tabela 55 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

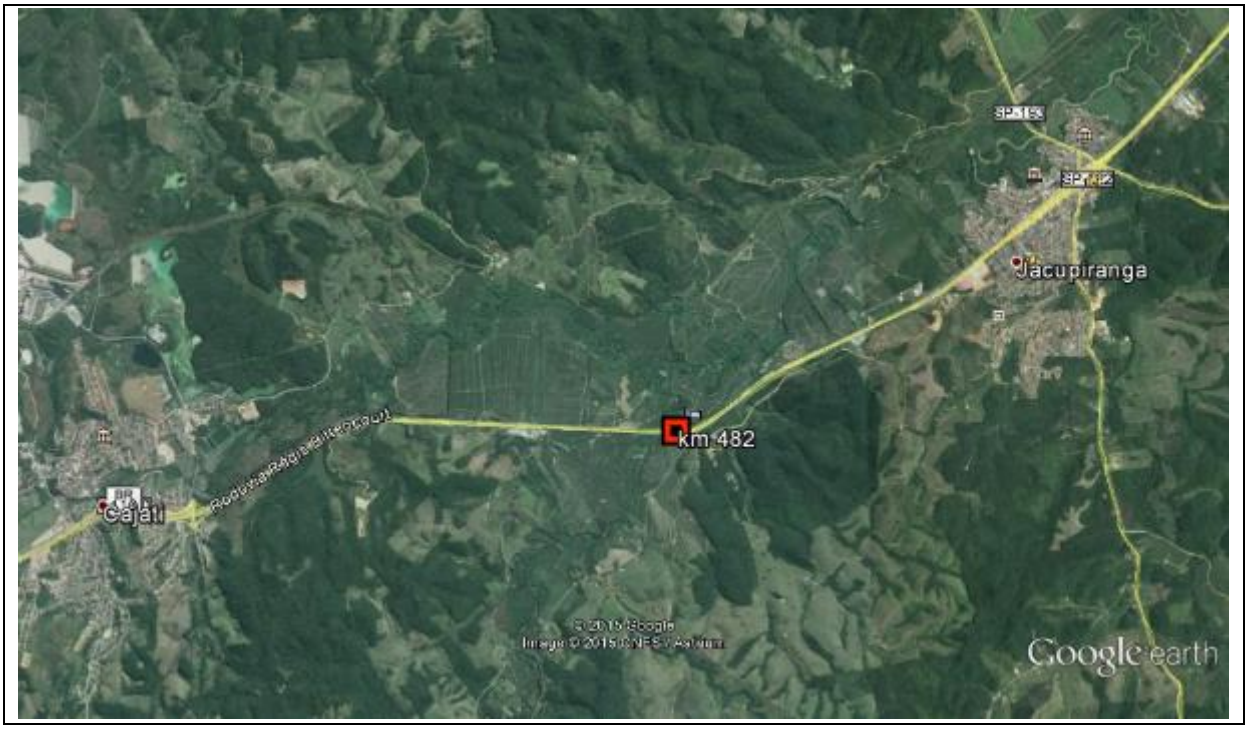
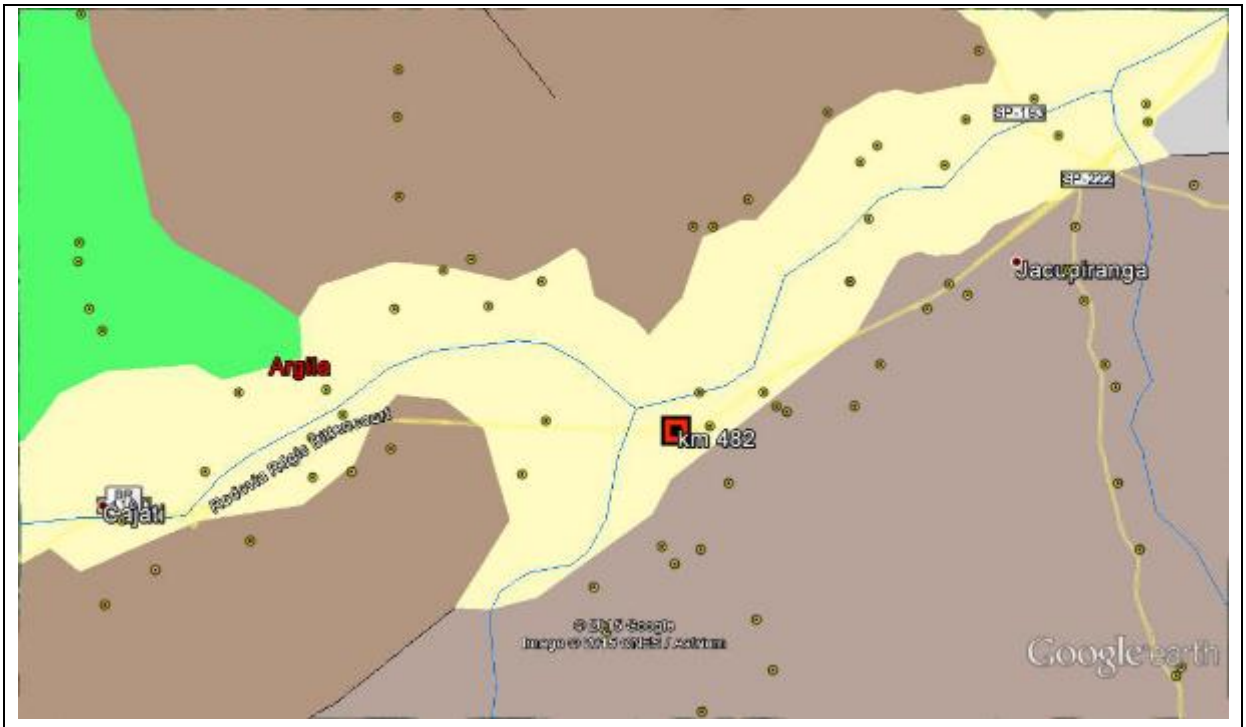


Figura 126: Localização do ponto sondado – km 482 (Pista Sul)
Fonte: Geobank/Google Earth®



LEGENDA:

- Jacupiranga: Dunito, Clinopiroxenito
- Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho
- Turvo-Cajati, unidade de xistos: Metasiltito, Metaritmito, Anfibólio xisto, Filito, Xisto
- Rio das Cobras: Muscovita biotita xisto, Metasiltito, Xisto, Metarenito
- Rochas miloníticas: Protomilonito, Milonito, Ultramilonito

Figura 127: Mapa Geológico do local sondado – km 482 (Pista Sul)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 55: histórico de intervenções informado - km 482 (pista sul)

km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Intervenção
482,000	481,000	482,569	MICROREVESTIMENTO	4,30	1,20	18/08/2012

Tabela 56: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 482 (pista sul)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
482	Sul	1	13,0	CA
		2	52,0	BASE BETUMINOSA
		3	-	SL

Tabela 57: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

Resumo											
km	Material	Leituras $D_{0,LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
482	SL	41	56	50	5	10	404	550	454	49	11

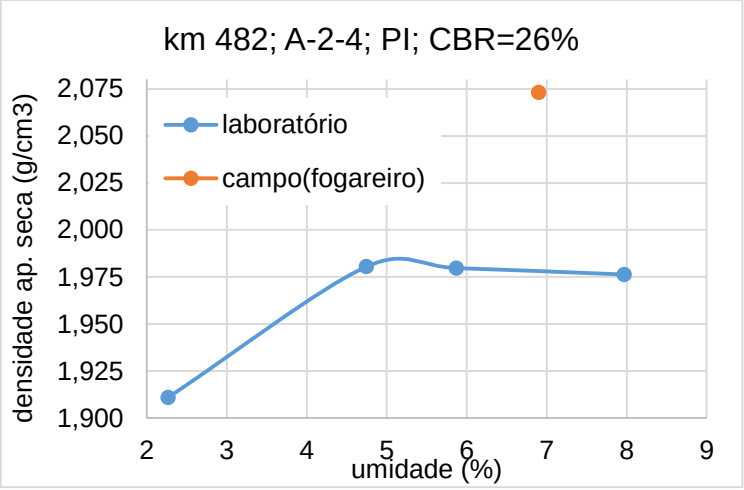
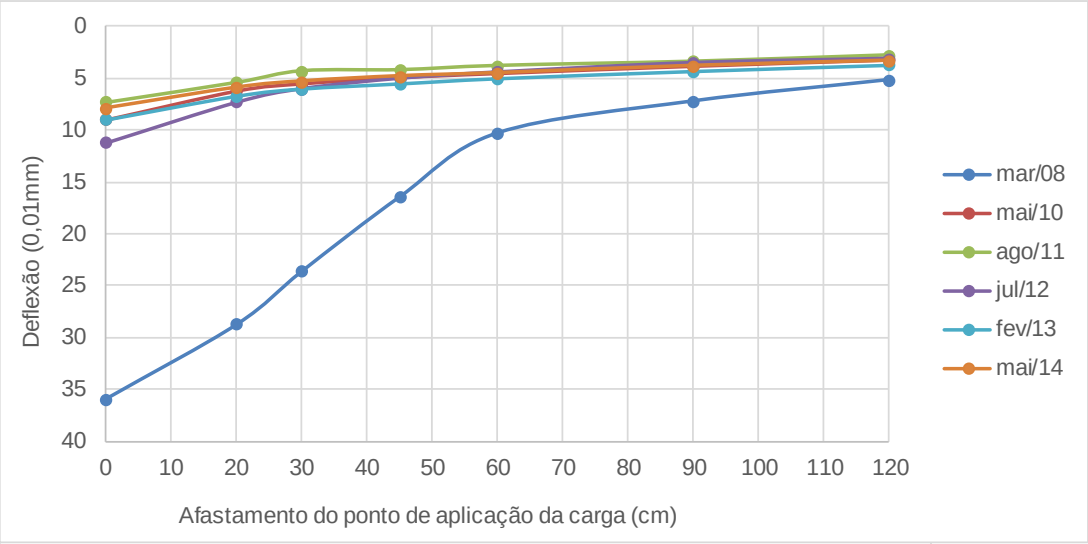


Figura 128: Comparativo entre densidades – laboratório x campo (subleito, km 482, sul)



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm²)	Eb (kgf/cm²)	Esl (kgf/cm²)	Eslx0,33 (kgf/cm²)	Esl (AASHTO /93)
Espessuras (cm)			**13,0**	**52,0**	**-**	**-**	
Materiais			**CA**	**BASE BETUMINOSA**	**SL**	**SL**	
mar/08			* Provável estrutura antiga de pavimento flexível				525
mai/10	32,0	35,0	32.700	34.000	2.850	941	879
ago/11	23,0	29,0	41.200	46.800	3.200	1.056	950
jul/12	21,0	31,0	28.300	18.300	3.450	1.139	886
fev/13	30,0	34,0	44.500	37.000	2.450	809	691
mai/14	22,0	25,0	46.000	46.000	2.640	871	800

Figura 129: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 482 (pista sul)

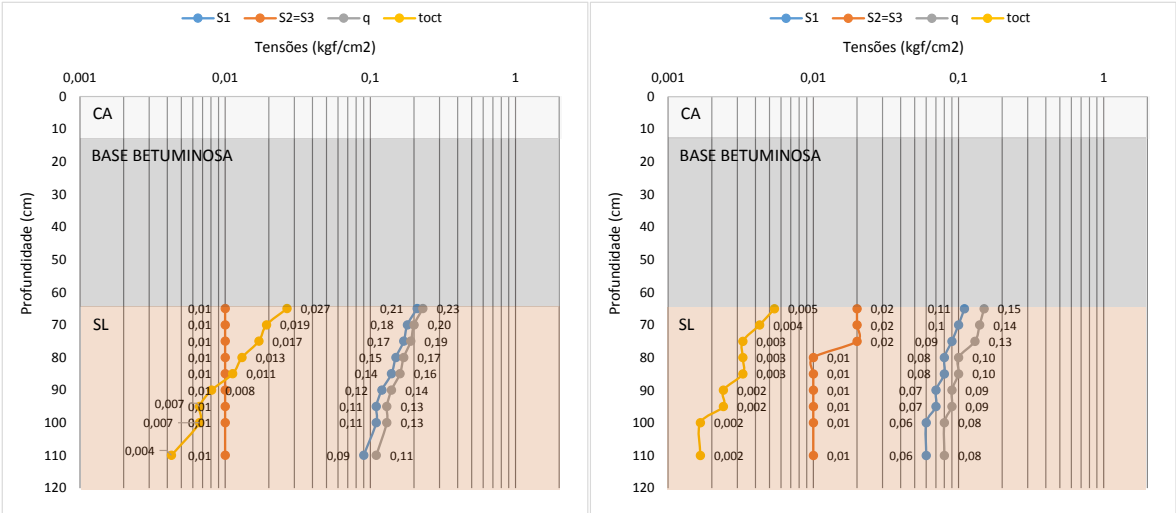


Figura 130: Tensões no subleito calculadas para (a) jul/2012 e (b) jun/2014

Tabela 58: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 482

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm²
1	BR-116	482,0	SUL	Subleito	----------ND----------										
2	BR-116	482,0	SUL	Silte argiloso amarelo	18,1	-	1,641	N	48	-0,010	0,00	41	-0,080	0,09	501

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	BR-116	482,0	SUL	Subleito	100	100	100	98	93	90	84	72	35	21	16			24,9	7,5	0	A-2-4
2	BR-116	482,0	SUL	Silte argiloso amarelo	100	100	100	100	100	100	98	93	80	64	38	38	4	35,2	16,2	2	A-6

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	BR-116	482,0	SUL	Subleito	I	1,980	4,8	26	0,3	ND	ND	6,9	2,073
2	BR-116	482,0	SUL	Silte argiloso amarelo	I	1,641	18,1	2	3,7	NS'/NA'	ND	ND	ND

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm3)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	BR-116	482,0	SUL	Subleito	16	18	37	12	16	2,60	31,3	39,4	57,3
2	BR-116	482,0	SUL	Silte argiloso amarelo	38	42	12	5	2	2,60	58,4	80,5	ND

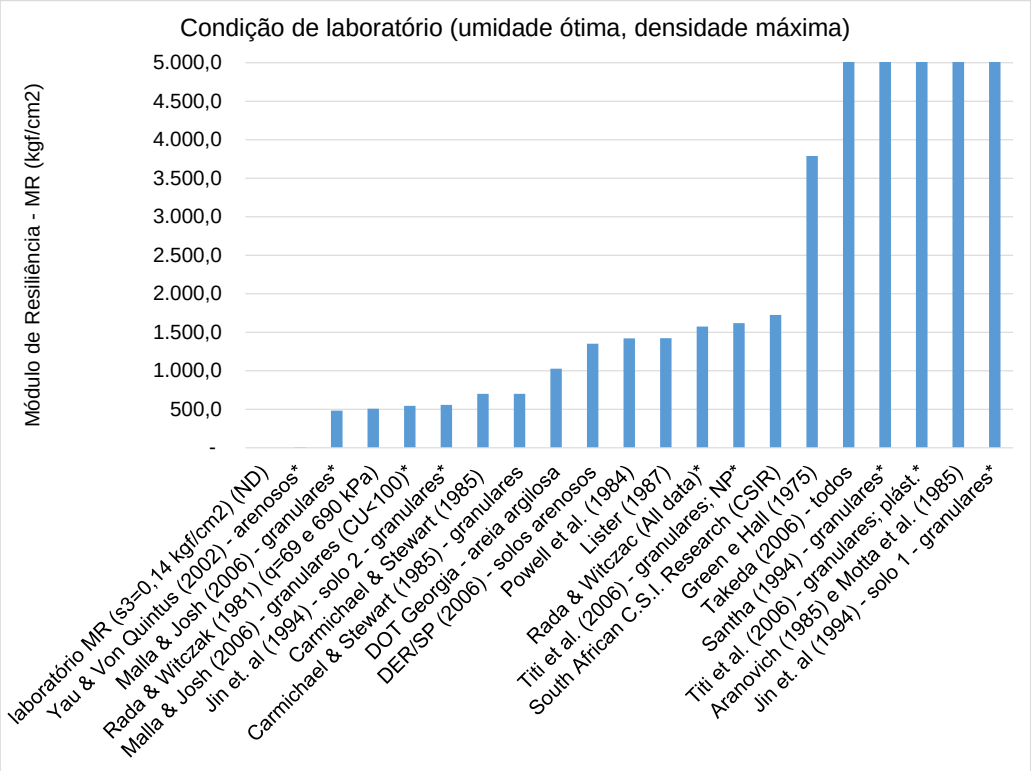


Figura 131: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

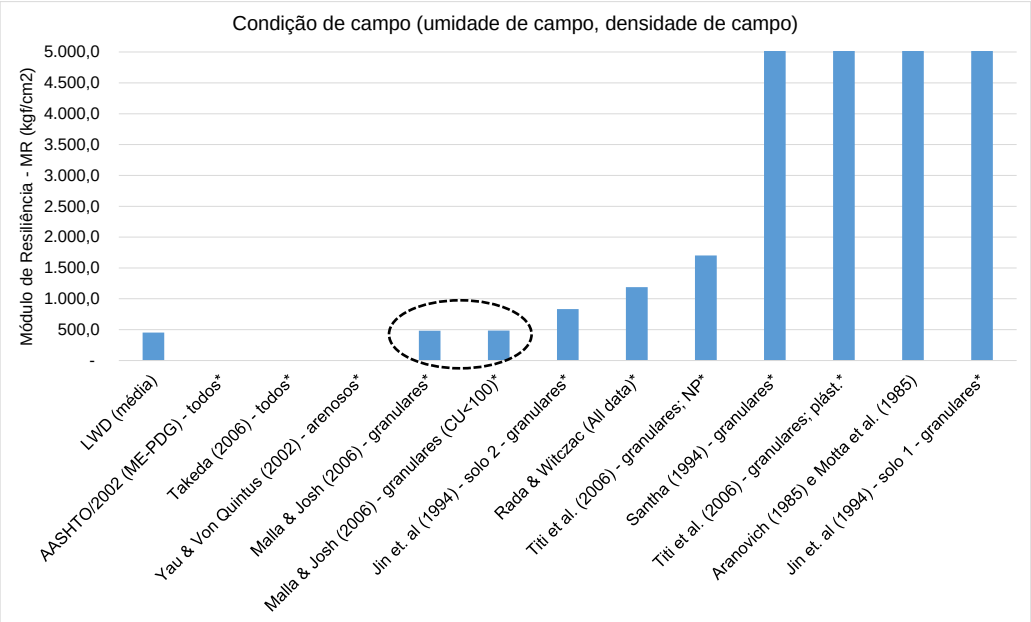


Figura 132: Comparativo entre MR in situ (LWD) e modelos de previsão de MR (condição de umidade verificada no campo)

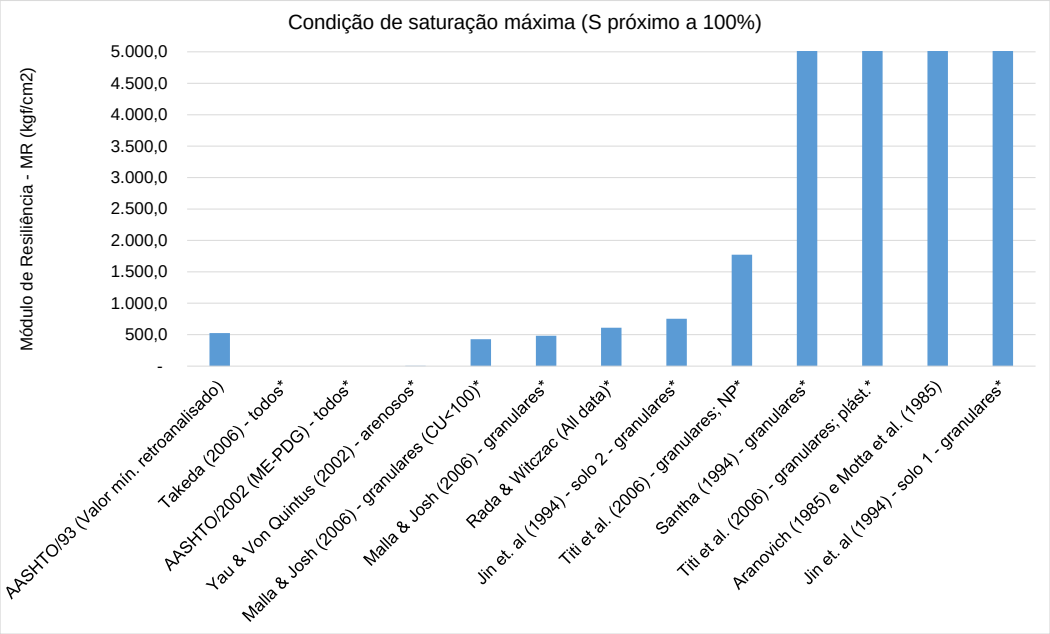
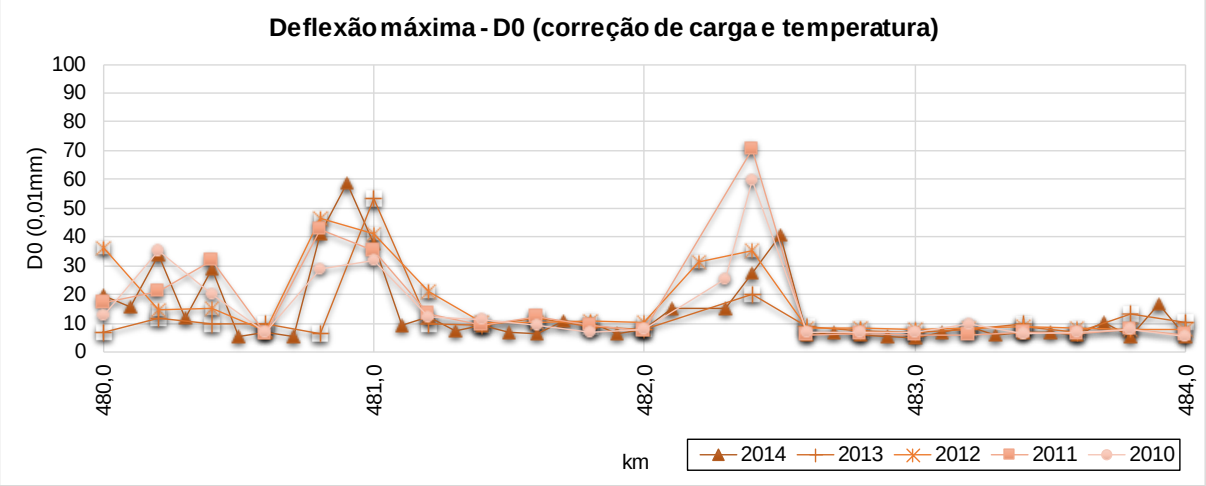
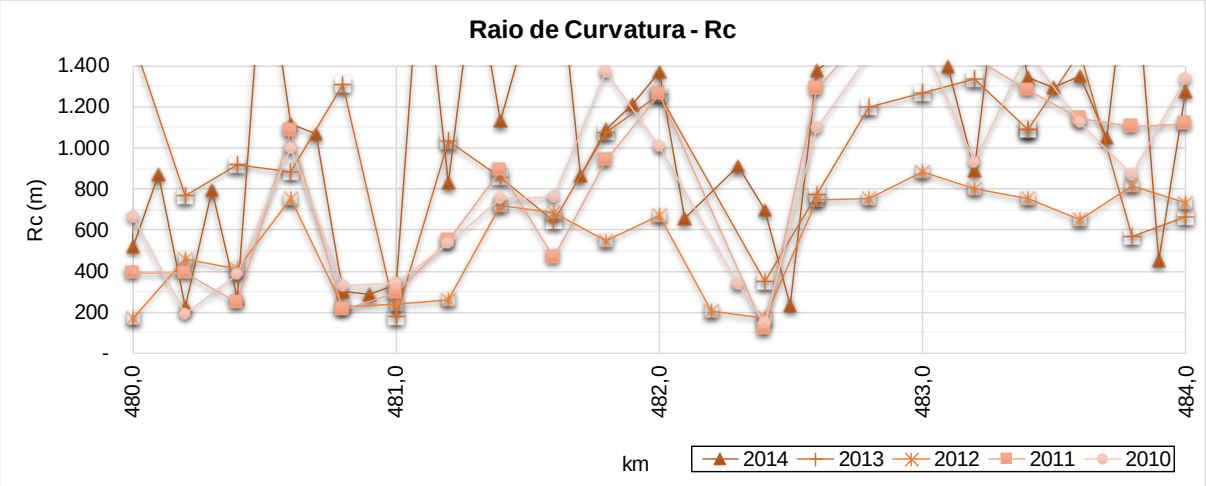


Figura 133: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





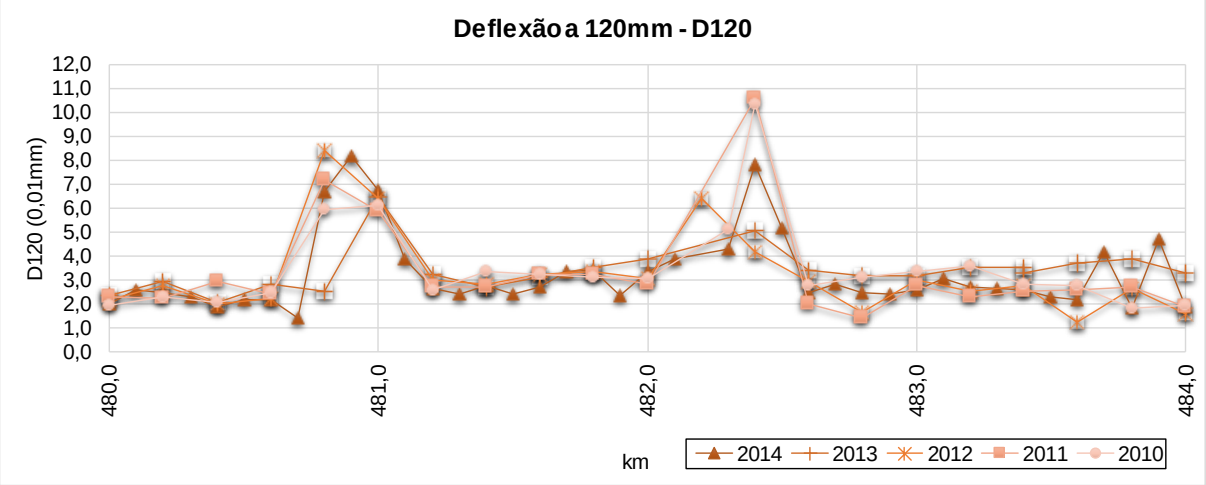
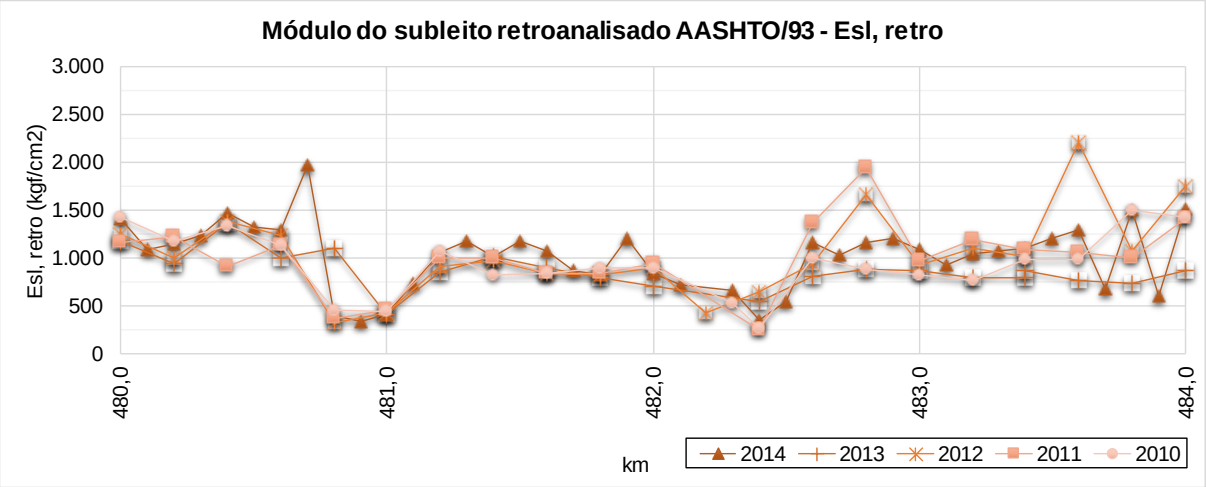


Figura 134: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 482 (pista sul)



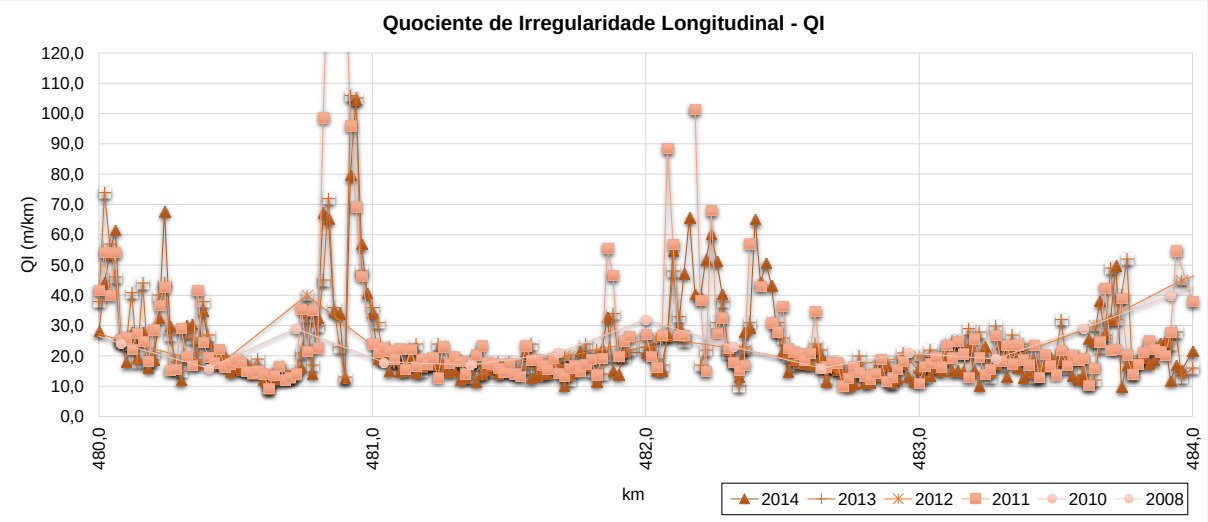


Figura 135: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 482 (pista sul)

481,5 482,5 CRESCENTE

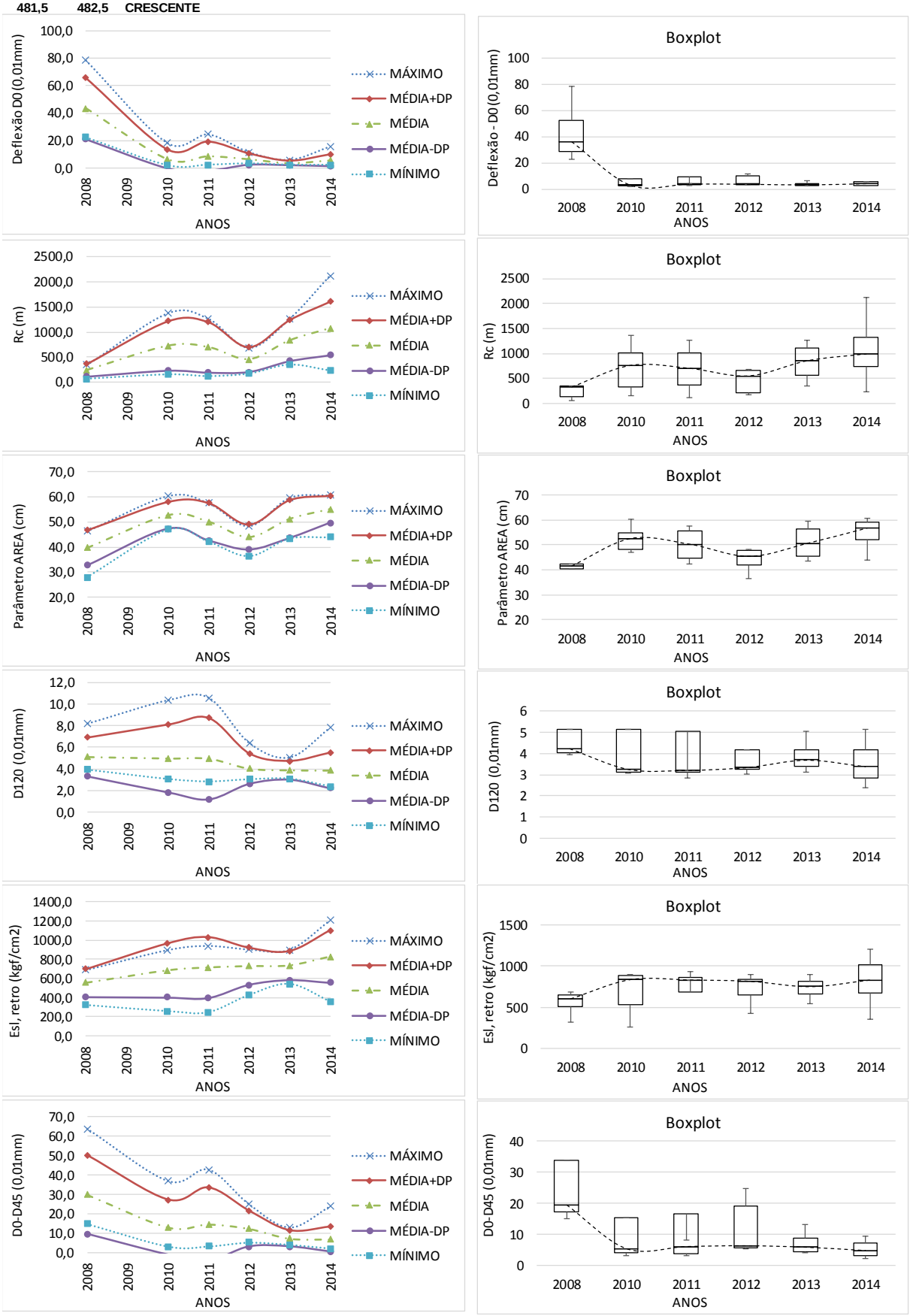


Figura 136: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 482)

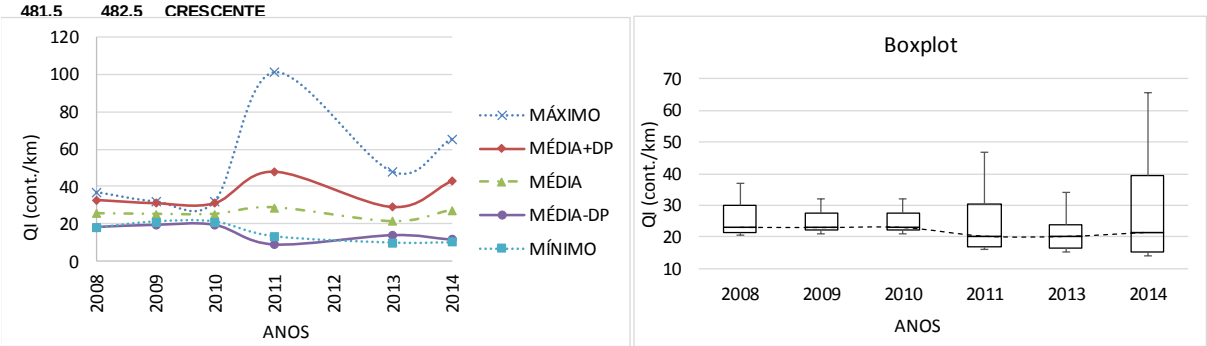


Figura 137: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 482)

8.12. Poço de inspeção do km 492 (Pista Sul)

A Figura 138 e Figura 139 a seguir ilustram a localização do poço de inspeção do km 482 (pista sul) bem como o mapeamento geológico do local. Verifica-se uma região com predominância de xistos.

A Tabela 59 apresenta o registro histórico de intervenções do pavimento.

A Tabela 60 apresenta a estrutura do pavimento identificada na ocasião da abertura do poço de inspeção. Trata-se de pavimento composto basicamente por materiais asfálticos (revestimento e base).

A Tabela 61 apresenta os resultados estatísticos obtidos a partir do ensaio de LWD sobre as camadas de subleito.

A Figura 140 apresenta o resultado da retroanálise da série histórica de deflexões do pavimento em estudo e a Figura 141 apresenta os gráficos de tensões calculadas no subleito, ilustrando o comportamento do subleito registrado através dos ensaios com FWD.

A Tabela 62 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de laboratório realizados com o material do subleito e dos materiais da faixa de domínio no local.

A Figura 142 apresenta um gráfico contendo os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura para a condição de umidade ótima (energia intermediária). Como não foram realizados os ensaios de módulo de laboratório, não foi possível realizar comparações.

A Figura 143 apresenta um gráfico comparativo entre o valor mínimo de módulo in situ medido com FWD (retroanálise) e os valores de módulo previstos pelos modelos da literatura, para as condições de saturação próxima da saturação máxima (adotou-se S próximo a 98%). Verificou-se uma razoabilidade maior dos modelos de Malla & Joshi (2006) e Rada & Witczak (1981).

A Figura 144 apresenta os gráficos da série histórica dos indicadores estruturais do pavimento (deflexão máxima, raio de curvatura, e deflexão a 120 mm do ponto de aplicação de carga) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 145 apresenta os gráficos da série histórica dos valores de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) no segmento que contempla o local em estudo.

A Figura 146 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot dos indicadores estruturas do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

A Figura 147 apresenta os dados estatísticos (valores máximos, mínimos, média e média mais ou menos desvio padrão), bem como boxplot para o indicador QI – quociente de irregularidade longitudinal do pavimento no segmento homogêneo determinado para o ponto em estudo.

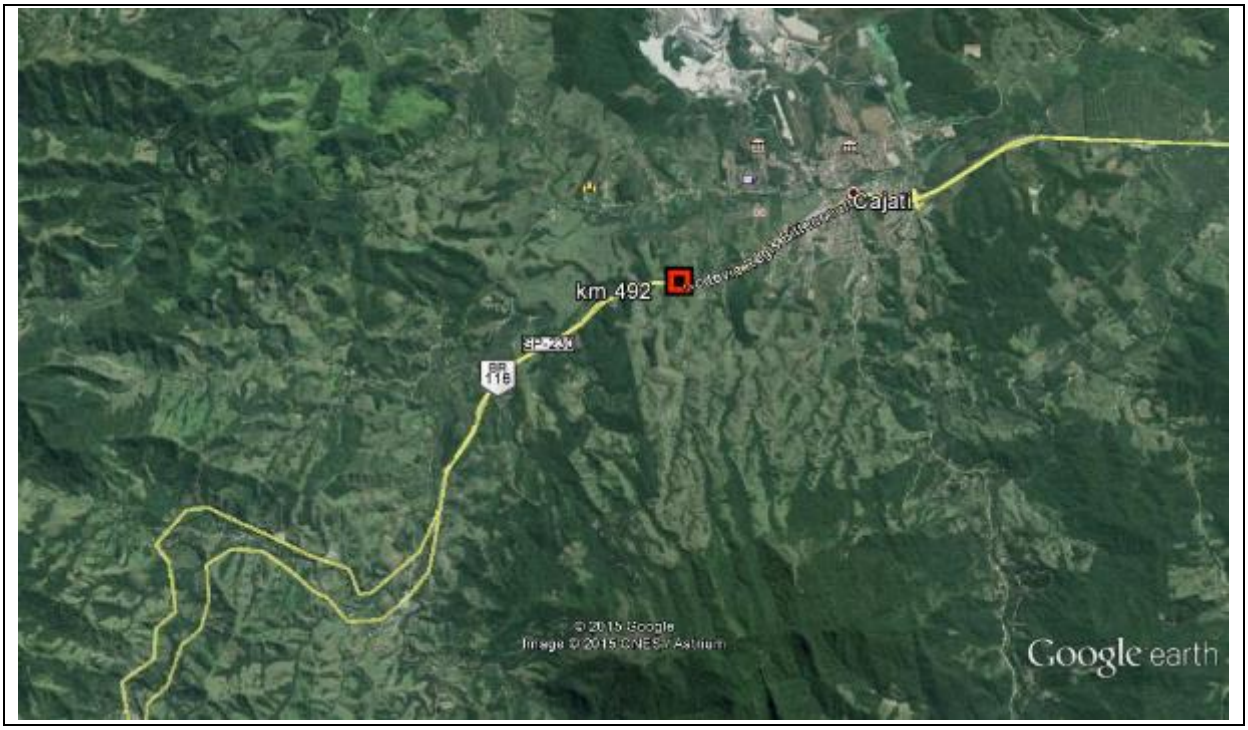
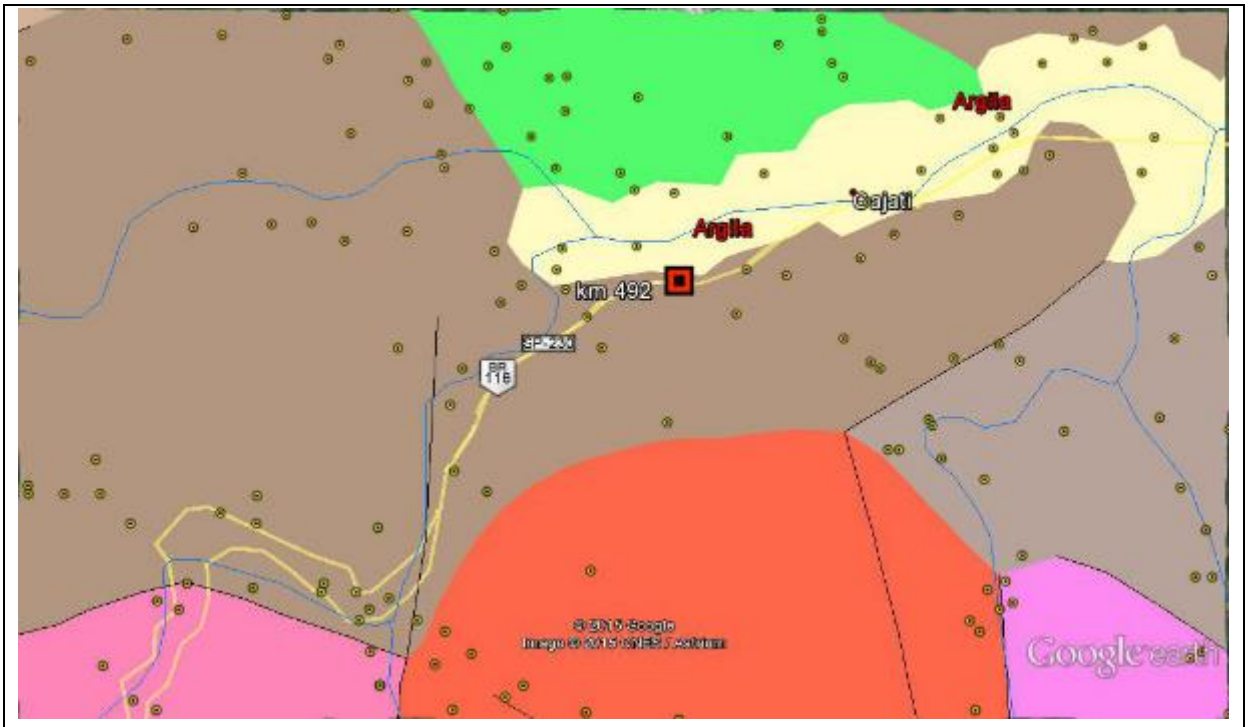


Figura 138: Localização do ponto sondado – km 492 (Pista Sul)
Fonte: Geobank/Google Earth®



LEGENDA:

- Jacupiranga: Dunito, Clinopiroxenito
- Depósitos aluvionares: Depósitos de areia, Depósitos de cascalho
- Turvo-Cajati, unidade de xistos: Metasiltito, Metaritmito, Anfibólio xisto, Filito, Xisto
- Rio das Cobras: Muscovita biotita xisto, Metasiltito, Xisto, Metarenito
- Atuba, unidade de gnaisses bandados: Gnaisse, Biotita gnaisse, Hornblenda gnaisse, Granito gnaisse
- Granito Rio Guaraú: Sienogranito, Álcali-feldspato granito
- Batólito Paranaguá, unidade de gnaisses e migmatitos: Cataclasito, Milonito, Biotita gnaisse, Migmatito, Gnaisse

Figura 139: Mapa Geológico do local sondado – km 492 (Pista Sul)
Fonte: Geobank/Google Earth®

Tabela 59: histórico de intervenções informado - km 492 (pista sul)

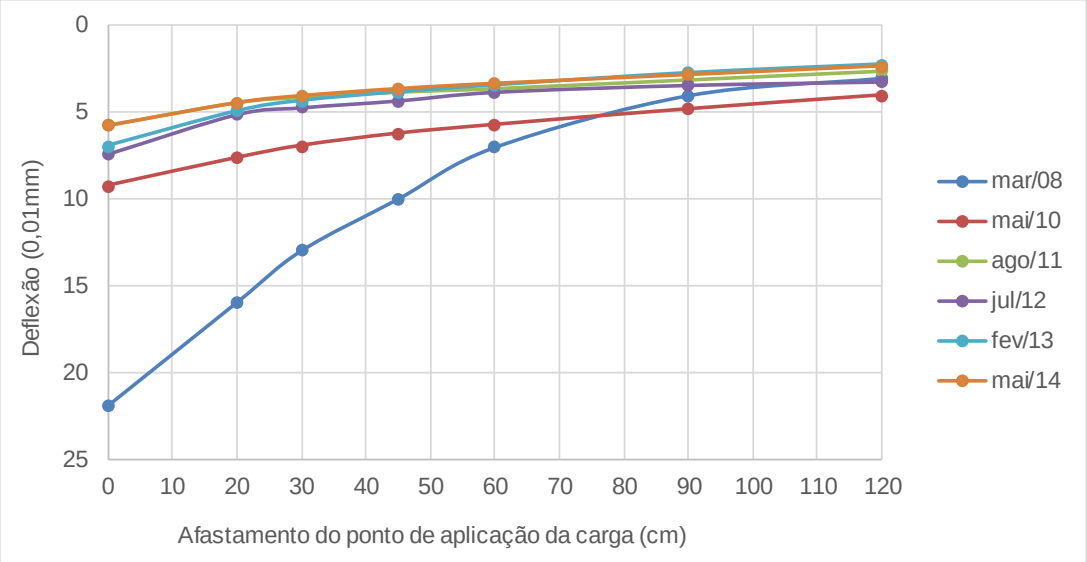
km	km inicial	km final	Solução Aplicada	Larg. (m)	Esp. (cm)	Data da Intervenção
492,000	490,270	492,922	MICROREVESTIMENTO	4,20	1,20	15/08/2012

Tabela 60: Estrutura do pavimento da faixa externa - km 492 (pista sul)

km	Pista	Camada	Espessura (cm)	Camada
492	Sul	1	14,0	CA
		2	40,0	BASE BETUMINOSA
		3	-	SL

Tabela 61: Estatística dos resultados do ensaio com LWD

km	Material	Leituras $D_{0,\ LWD}$ (10^{-2}mm)					$E_{0,\ calc}$ (kfg/cm^2)				
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)	Mín.	Máx.	Média	Desvio	CV(%)
492	SL	13	15	14	1	4	1.502	1.718	1.628	70	4



Mês/ano Levantamento	Tar (°C)	Tpav (°C)	Er1 (kgf/cm^2)	Eb (kgf/cm^2)	Esl (kgf/cm^2)	Eslx0,33 (kgf/cm^2)	Esl (AASHTO/ 93)
Espessuras (cm)			**14,0**	**40,0**	**-**	**-**	**-**
Materiais			**CA**	**BASE BETUMINOSA**	**SL**	**SL**	**SL**
mar/08			* Provável estrutura antiga de pavimento flexível				903
mai/10	31,0	34,0	90.000	35.000	2.350	776	736
ago/11	16,0	19,0	70.000	99.000	3.400	1.122	949
jul/12	25,0	30,0	30.000	98.000	3.100	1.023	827
fev/13	36,0	44,0	50.000	47.500	4.600	1.518	1.612
mai/14	22,0	27,0	81.000	72.000	4.200	1.386	1.305

Figura 140: Retroanálise das bacias de deflexões (série histórica) – km 492 (pista sul)

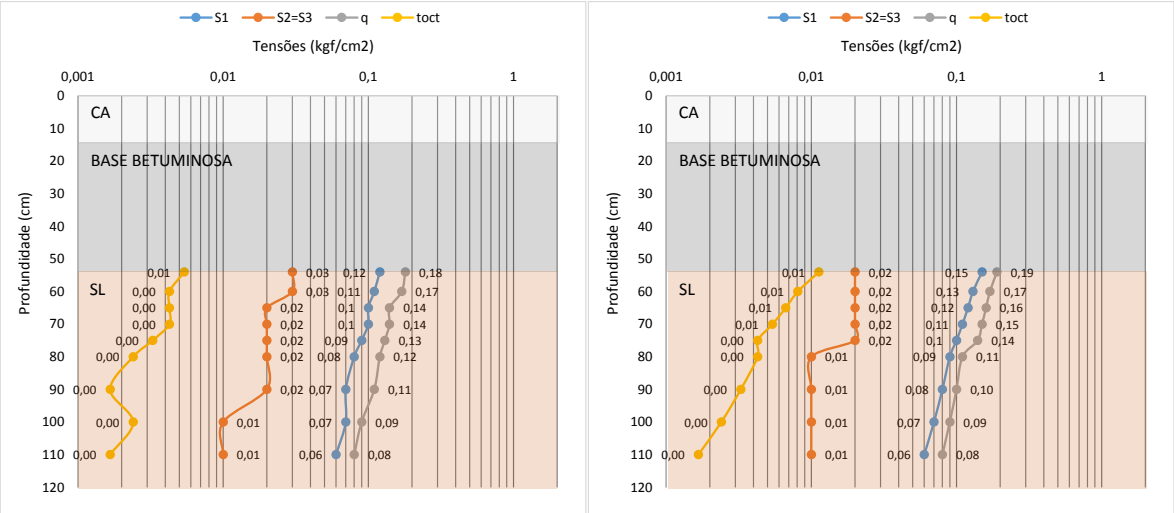


Figura 141: Tensões no subleito calculadas para (a) fev/2013 e (b) jun/2014

Tabela 62: Resumo dos ensaios realizados com material próximo ao km 492

Amostras					Ensaio MR (σ3 e σd)										
									MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	h mold. (%)	h pós sat (%)	γd (g/cm3)	En. mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR (s3=0,14 kgf/cm²) (kgf/cm²
1	BR-116	492,0	SUL	Subleito	----------ND----------										
2	BR-116	492,0	SUL	Silte argiloso vermelho	16,6	-	1,740	N	23	-0,430	0,54	29	-0,440	0,82	1.442

Amostras					Granulometria - percentual passante (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	BR-116	492,0	SUL	Subleito	100	100	100	99	95	90	81	67	21	11	9			0,0	0,0	0	A-1-b
2	BR-116	492,0	SUL	Silte argiloso vermelho	100	100	100	100	100	100	98	95	92	86	58	58	17	45,2	8,2	4	A-5

Amostras					Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	BR-116	492,0	SUL	Subleito	I	1,840	12,3	59	0,0	ND	ND	ND	ND
2	BR-116	492,0	SUL	Silte argiloso vermelho	I	1,740	16,6	2	7,2	NS'-NG'	ND	ND	ND

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm3)	e (%)	S wot (%)	S campo (%)
1	BR-116	492,0	SUL	Subleito	9	12	46	13	19	2,60	41,3	77,7	ND
2	BR-116	492,0	SUL	Silte argiloso vermelho	58	34	3	3	2	2,70	55,2	81,2	ND

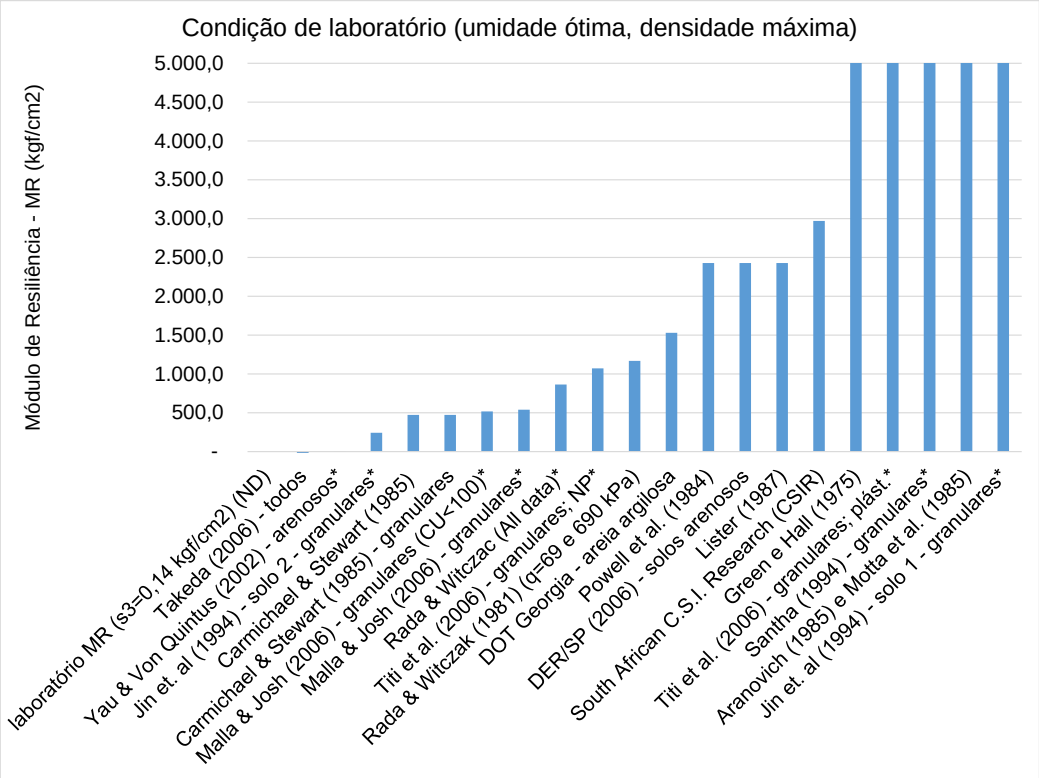


Figura 142: Comparativo entre MR de laboratório e modelos de previsão de MR (condição de umidade ótima)

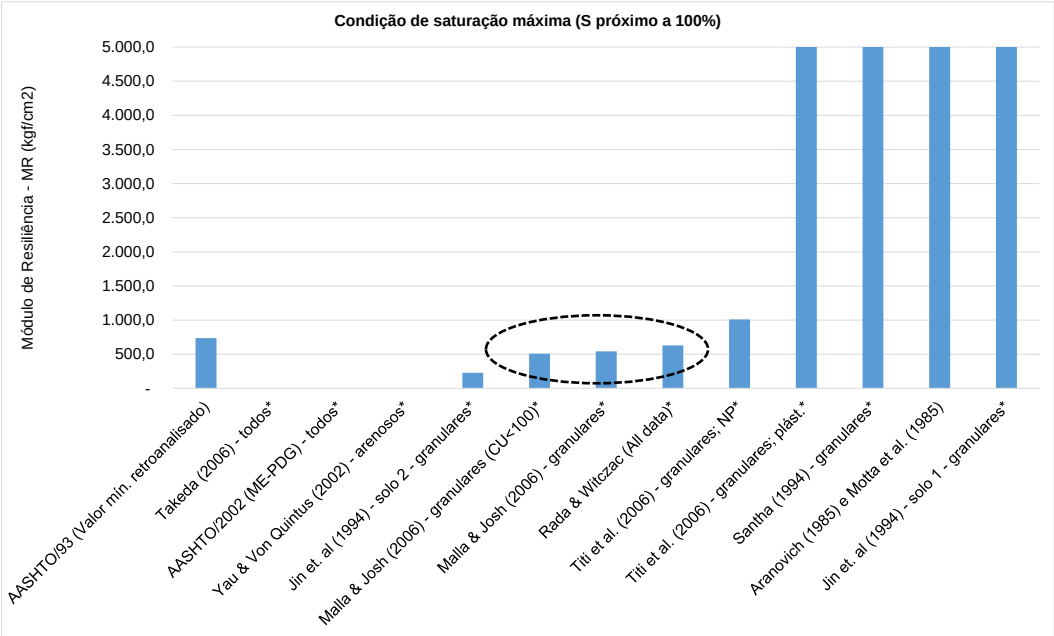
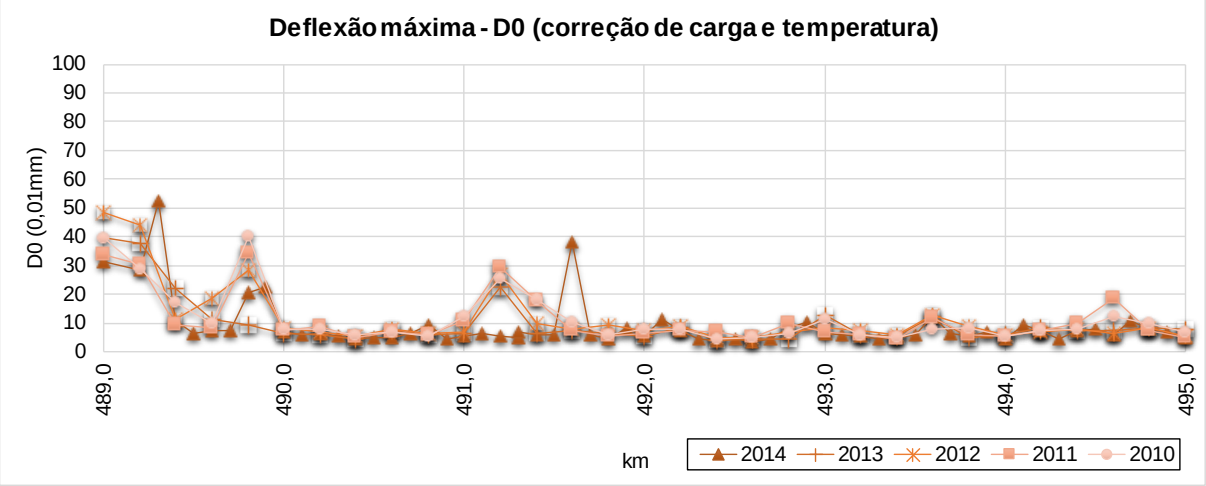
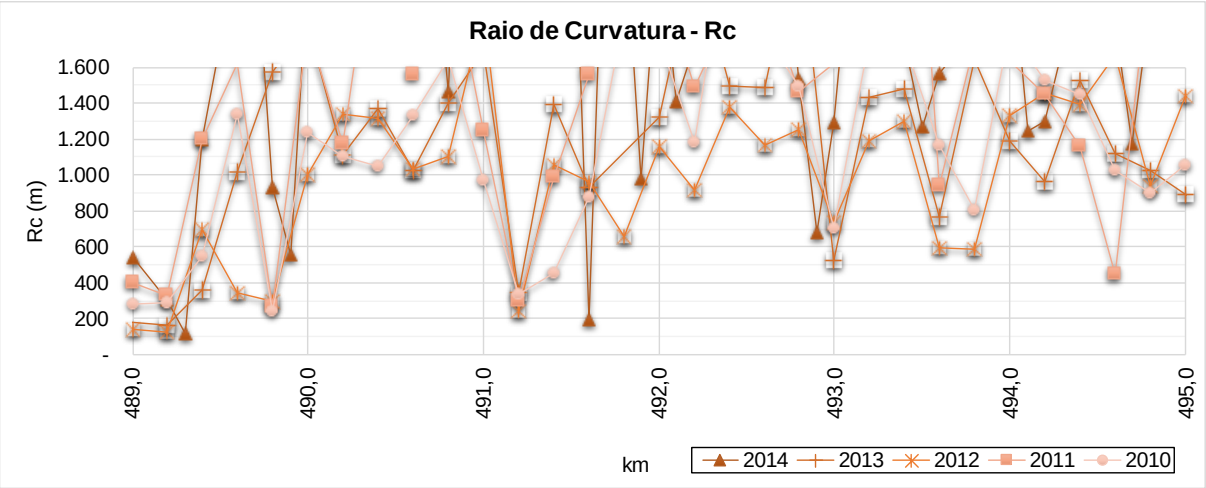


Figura 143: Comparativo entre MR in situ mínimo verificado (FWD) e modelos de previsão de MR (condição de saturação próxima a 100%)





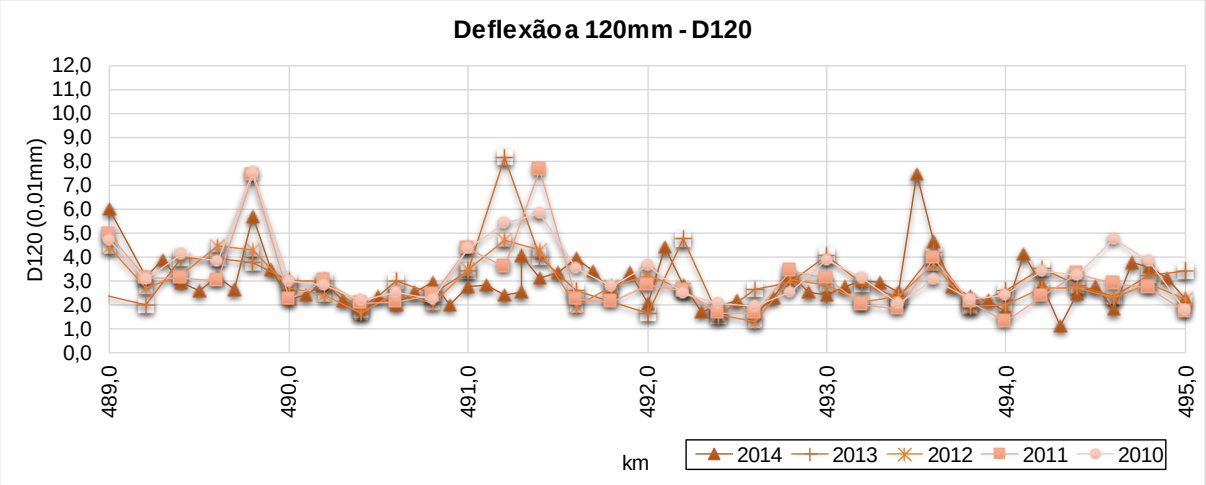
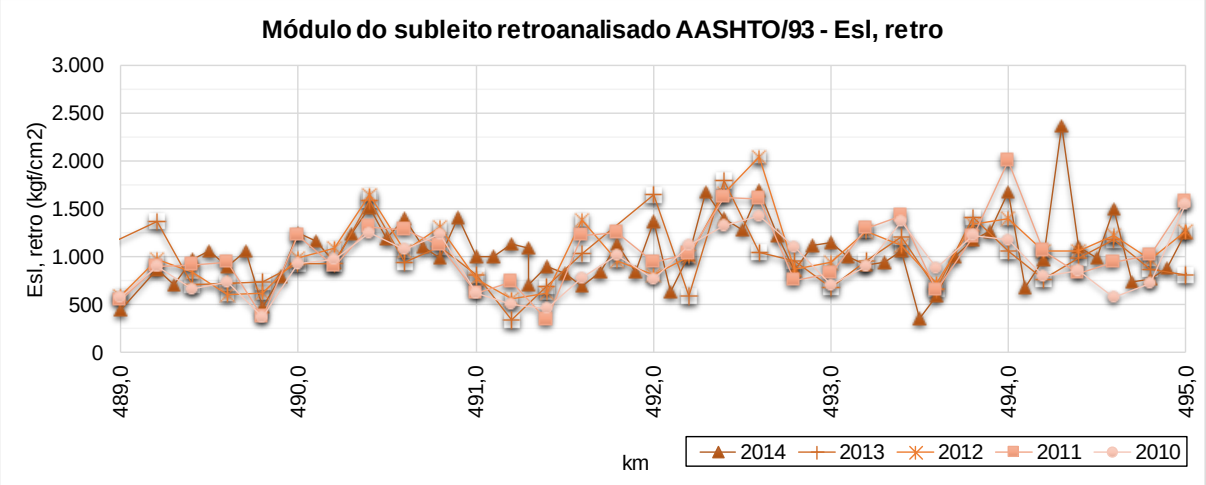


Figura 144: Gráficos de série histórica dos indicadores estruturais do pavimento no segmento do km 492 (pista sul)



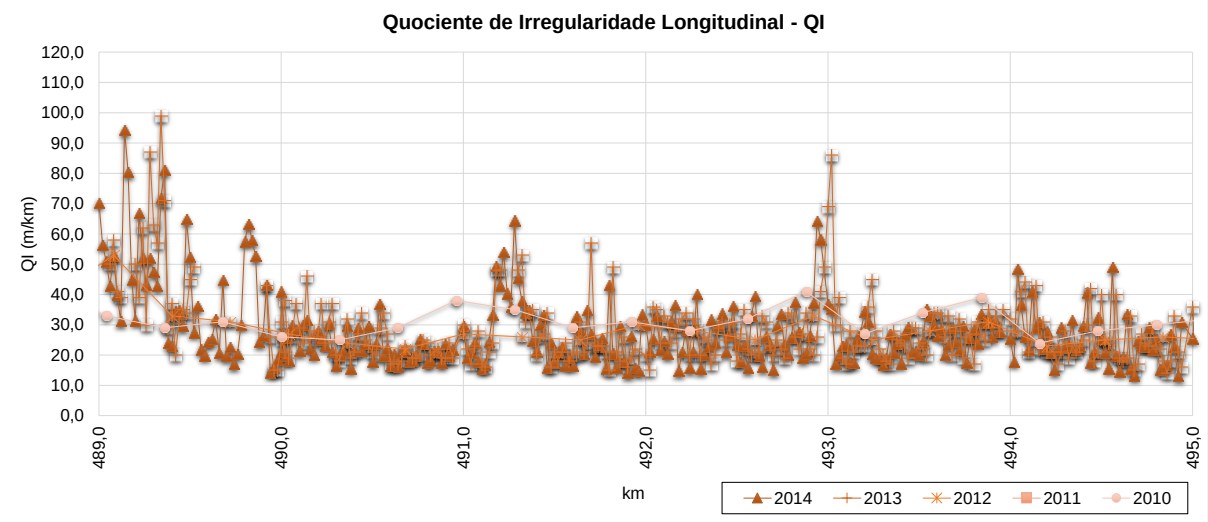


Figura 145: Gráficos da série histórica dos dados de módulo retroanalisado (FWD) e Quociente de Irregularidade (QI) do pavimento no segmento do km 492 (pista sul)

491,5 492,5 CRESCENTE

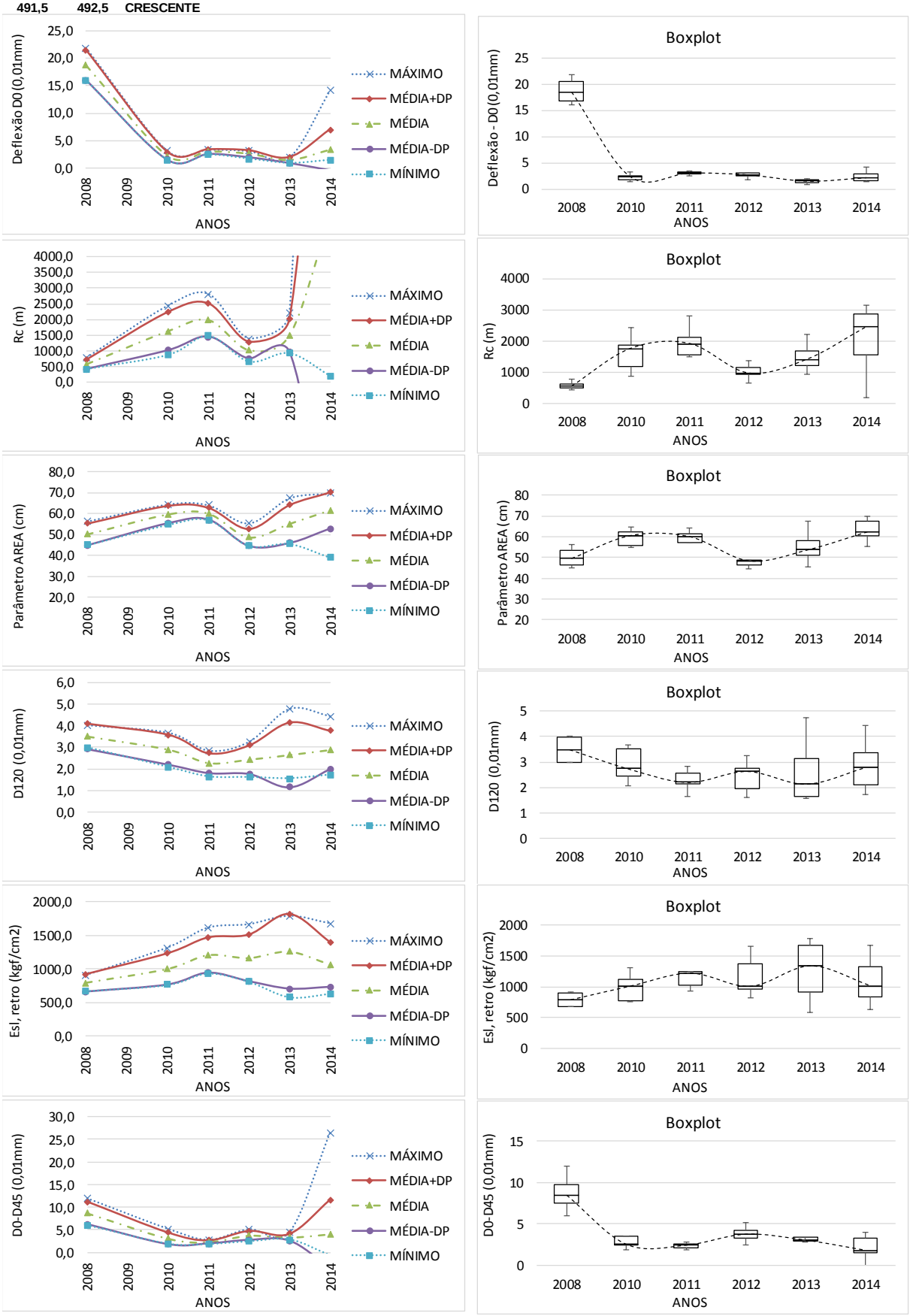


Figura 146: Estatísticas dos Parâmetros do pavimento (S. Homogêneo do km 492)

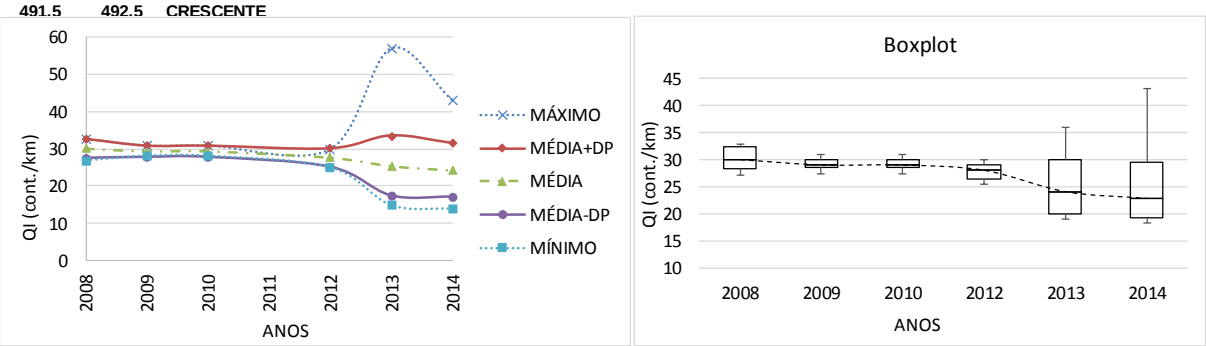


Figura 147: Estatísticas do índice QI do pavimento (S. Homogêneo do km 492)

9. RESUMO DOS ENSAIOS

A Tabela 63 até Tabela 66 a seguir apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de caracterização, classificação e módulo dos materiais de subleito, ensaios no decorrer desta pesquisa.

Tabela 63: Resultados dos ensaios de módulo de resiliência (MR)

Amostras						Ensaio MR (σ3 e σd)										
										MR = k1 x (σ3)^k2			MR = k3 x (σd)^k4			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Amostra	w mold. (%)	w pós cond. (%)	γd (g/cm3)	Energia mold.	coef. k1	coef. k2	R2	coef. k3	coef. k4	R2	MR referência* (kgf/cm²)
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	a	26,5	-	1,450	N	169	-0,185	0,47	182	-0,203	0,840	3.481
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	b	26,5	-	1,450	N	209	-0,176	0,40	220	-0,199	0,770	4.154
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	c	26,5	-	1,450	N	210	-0,212	0,40	216	-0,255	0,870	4.877
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	d	25,0	-	1,560	I	399	0,004	0,00	361	-0,039	0,210	4.089
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	e	25,0	-	1,560	I	621	0,067	0,22	518	0,005	0,002	5.098
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	f	25,0	-	1,560	I	392	-0,056	0,12	369	-0,099	0,540	5.062
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	g	21,0	-	1,660	M	446	-0,072	0,14	412	-0,127	0,630	6.181
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	h	21,0	-	1,660	M	403	-0,041	0,07	377	-0,081	0,410	4.883
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	i	21,0	-	1,660	M	386	-0,051	0,12	364	-0,091	0,560	4.868
1	BR-116	402,0	NORTE	Subleito		5,0	-	2,050	I	1.194	0,560	0,98	609	0,412	0,77	1.094
1	BR-116	405,0	NORTE	Subleito		7,0	-	2,160	I	1.382	0,610	0,95	652	0,440	0,74	1.022
1	BR-116	414,0	SUL	Cascalho	a	6,2	-	2,214	M	745	0,531	-	545	0,396	-	772
1	BR-116	414,0	SUL	Cascalho	b	6,2	-	2,214	M	711	0,509	-	482	0,348	-	811
1	BR-116	414,0	SUL	Cascalho	c	6,2	7,7	2,214	M	814	0,586	-	515	0,397	-	668
1	BR-116	414,0	SUL	Cascalho	d	6,2	4,2	2,214	M	596	0,092	-	535	0,051	-	4.024
1	BR-116	418,0	NORTE	Subleito		9,3	-	2,070	I	876	0,517	0,96	452	0,362	0,70	964
1	BR-116	423,0	NORTE	Subleito		8,9	-	2,120	I	1.115	0,627	0,95	542	0,477	0,80	767
1	BR-116	429,0	NORTE	Subleito		7,7	-	2,080	I	754	0,481	0,96	388	0,292	0,550	968
1	BR-116	431,0	NORTE	Subleito		6,6	-	2,080	I	864	0,480	0,92	461	0,330	0,65	1.113
1	BR-116	434,0	NORTE	Subleito		7,8	-	2,090	I	761	0,470	0,98	420	0,330	0,72	1.023
1	BR-116	456,0	NORTE	Subleito		9,3	-	2,000	I	225	0,160	0,27	139	-0,010	0,00	1.136
1	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	a	19,3	-	1,730	I	278	-0,284	0,54	327	-0,287	0,82	8.179
1	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	b	19,3	-	1,730	I	88	-0,450	0,73	128	-0,410	0,88	4.742
1	BR-116	482,0	SUL	Subleito		ND										
1	BR-116	492,0	SUL	Subleito		ND										
2	BR-116	402,0	NORTE	Argila siltosa vermelha		20,3	-	1,493	N	16	-0,530	0,56	18	-0,620	0,93	1.304
2	BR-116	405,0	NORTE	Cascalho variegado		10,5	-	2,035	N	589	0,410	0,95	323	0,250	0,52	1.023
2	BR-116	413,0	NORTE	Cascalho variegado		10,6	-	2,016	N	427	0,290	0,72	250	0,140	0,230	1.238
2	BR-116	418,1	NORTE	Argila siltosa vermelha		18,0	-	1,514	N	23	-0,510	0,58	33	-0,500	0,83	2.029
2	BR-116	423,5	NORTE	Silte argiloso rosa		17,5	-	1,684	N	60	-0,090	0,08	55	-0,150	0,32	881
2	BR-116	429,0	NORTE	Cascalho variegado		8,7	-	2,041	N	407	0,390	0,91	221	0,230	0,45	770
2	BR-116	431,0	NORTE	Argila siltosa amarela		19,9	-	1,449	N	24	-0,430	0,35	18	-0,640	0,93	1.390
2	BR-116	434,0	NORTE	Argila siltosa rosa		20,5	-	1,626	N	28	-0,310	0,38	31	-0,350	0,73	1.052
2	BR-116	456,0	NORTE	Silte argiloso variegado		18,5	-	1,630	N	75	0,050	0,03	56	-0,060	0,05	606
2	BR-116	460,0	NORTE	Argila amarela		23,8	-	1,532	N	54	-0,470	0,58	68	-0,490	0,92	4.015
2	BR-116	482,0	SUL	Silte argiloso amarelo		18,1	-	1,641	N	48	-0,010	0,00	41	-0,080	0,09	501
2	BR-116	492,0	SUL	Silte argiloso vermelho		16,6	-	1,740	N	23	-0,430	0,54	29	-0,440	0,82	1.182

Tabela 64: Resultados dos ensaios de compactação e CBR, classificação MCT e umidade

Amostras						Compactação e CBR					Class. MCT	Condição Campo		
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	Amostra	Energia	γd máx (g/cm3)	wot (%)	CBR (%)	Exp. (%)	MCT	γs (g/cm3)	wnat (%)	γnat (g/cm3)
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	a	N	1,450	26,5	18	ND	ND	2,703	ND	ND
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	b	N	1,450	26,5	18	ND	ND	2,703	ND	ND
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	c	N	1,450	26,5	18	ND	ND	2,703	ND	ND
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	d	I	1,560	25,0	30	ND	ND	2,703	ND	ND
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	e	I	1,560	25,0	30	ND	ND	2,703	ND	ND
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	f	I	1,560	25,0	30	ND	ND	2,703	ND	ND
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	g	M	1,660	21,0	31	ND	ND	2,703	ND	ND
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	h	M	1,660	21,0	31	ND	ND	2,703	ND	ND
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	i	M	1,660	21,0	31	ND	ND	2,703	ND	ND
1	BR-116	402,0	NORTE	Subleito		I	2,110	5,0	47	0,0	NA-NS'	ND	5,5	2,143
1	BR-116	405,0	NORTE	Subleito		I	2,160	7,0	35	0,0	NS'/NA'	ND	4,0	2,074
1	BR-116	414,0	SUL	Cascalho	a	M	2,214	6,2	58	0,0	ND	ND	4,5	2,325
1	BR-116	414,0	SUL	Cascalho	b	M	2,214	6,2	58	0,0	ND	ND	4,5	2,325
1	BR-116	414,0	SUL	Cascalho	c	M	2,214	6,2	58	0,0	ND	ND	4,5	2,325
1	BR-116	414,0	SUL	Cascalho	d	M	2,214	6,2	58	0,0	ND	ND	4,5	2,325
1	BR-116	418,0	NORTE	Subleito		I	2,050	9,0	34	0,0	NG'	ND	6,5	2,179
1	BR-116	423,0	NORTE	Subleito		I	2,110	8,2	50	0,6	NG'	ND	4,3	2,416
1	BR-116	429,0	NORTE	Subleito		I	2,050	7,3	18	0,1	NG'	ND	5,1	2,470
1	BR-116	431,0	NORTE	Subleito		I	2,080	7,9	32	0,0	NS'-NA'	ND	7,9	2,107
1	BR-116	434,0	NORTE	Subleito		I	2,090	7,8	47	0,0	NS'-NA'	ND	12,3	1,856
1	BR-116	456,0	NORTE	Subleito		I	2,000	8,2	16	0,7	NS'-NG'	2,55	9,7	1,801
1	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	a	I	1,730	20,2	5	0,3	LG'	2,696	17,2	1,550
1	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	b	I	1,730	20,2	5	0,3	LG'	2,696	17,2	1,550
1	BR-116	482,0	SUL	Subleito		I	1,980	4,8	26	0,3	ND	ND	6,9	2,073
1	BR-116	492,0	SUL	Subleito		I	1,840	12,3	59	0,0	ND	ND	ND	ND
2	BR-116	402,0	NORTE	Argila siltosa vermelha		N	1,493	20,3	2	6,3	NG'	ND	ND	ND
2	BR-116	405,0	NORTE	Cascalho variegado		N	2,035	10,5	7	0,7	NS'/NA'	ND	ND	ND
2	BR-116	413,0	NORTE	Cascalho variegado		N	2,016	10,6	9	0,8	NS'-NG'	ND	ND	ND
2	BR-116	418,1	NORTE	Argila siltosa vermelha		N	1,514	18,0	4	4,2	NS'-NG'	ND	ND	ND
2	BR-116	423,5	NORTE	Silte argiloso rosa		N	1,684	17,5	3	4,1	NS'/NA'	ND	ND	ND
2	BR-116	429,0	NORTE	Cascalho variegado		N	2,041	8,7	28	0,0	NS'-NA'	ND	ND	ND
2	BR-116	431,0	NORTE	Argila siltosa amarela		N	1,449	19,9	3	1,9	NG'	ND	ND	ND
2	BR-116	434,0	NORTE	Argila siltosa rosa		N	1,626	20,5	3	3,7	NS'-NG'	ND	ND	ND
2	BR-116	456,0	NORTE	Silte argiloso variegado		N	1,630	18,5	5	3,4	NS'/NA'	ND	ND	ND
2	BR-116	460,0	NORTE	Argila amarela		N	1,532	23,8	7	0,1	LG'	ND	ND	ND
2	BR-116	482,0	SUL	Silte argiloso amarelo		I	1,641	18,1	2	3,7	NS'/NA'	ND	ND	ND
2	BR-116	492,0	SUL	Silte argiloso vermelho		I	1,740	16,6	2	7,2	NS'-NG'	ND	ND	ND

Tabela 65: Resultados dos ensaios de granulometria, limites de Atterberg e classificação HRB

Amostras					Granulometria - percentual passante nas peneiras (%)													Limites e Class. HRB			
					50	38	25	19	12,50	9,50	4,80	2,00	0,42	0,15	0,07	0,05	0,01				
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	100	200	270	F	LL (%)	IP (%)	IG	HRB
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	100	100	100	100	100	100	100	99	90	83	79			53,0	15,6	15	A-7-5
1	BR-116	402,0	NORTE	Subleito							92	83	56		34			NL	NP	0	A-2-4
1	BR-116	405,0	NORTE	Subleito	100	100	87	82	77	72	60	47	23	15	12			20,1	4,4	0	A-1-b
1	BR-116	414,0	SUL	Cascalho	100	100	100	100	97	95	93	78	29	18	15			NL	NP	0	A-1-b
1	BR-116	418,0	NORTE	Subleito							83	72	37		15			NL	NP	0	A-1-b
1	BR-116	423,0	NORTE	Subleito							68	55	31		15			NL	NP	0	A-1-b
1	BR-116	429,0	NORTE	Subleito							92	83	56		34			19,0	19,0	2	A-2-6
1	BR-116	431,0	NORTE	Subleito	100	100	100	100	97	94	84	70	28	20	16			23,5	8,2	0	A-2-4
1	BR-116	434,0	NORTE	Subleito	100	100	100	96	93	91	86	72	23	10	2			20,0	3,6	0	A-1-b
1	BR-116	456,0	NORTE	Subleito	100	100	100	99	97	95	87	79	55	39	31			27,0	9,0	0	A-2-4
1	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	100	100	100	100	99	98	97	94	79	64	55			44,0	15,7	7	A-7-6
1	BR-116	482,0	SUL	Subleito	100	100	100	98	93	90	84	72	35	21	16			24,9	7,5	0	A-2-4
1	BR-116	492,0	SUL	Subleito	100	100	100	99	95	90	81	67	21	11	9			NL	NP	0	A-1-b
2	BR-116	402,0	NORTE	Argila siltosa vermelha	100	100	100	100	100	99	98	91	82	76	56	56	24	63,7	26,7	14	A-7-5
2	BR-116	405,0	NORTE	Cascalho variegado	100	99	99	93	89	79	63	34	25	20	14	14	3	NL	NP	0	A-1-b
2	BR-116	413,0	NORTE	Cascalho variegado	100	100	99	98	96	91	76	43	33	28	18	18	6	NL	NP	0	A-1-b
2	BR-116	418,1	NORTE	Argila siltosa vermelha	100	100	100	100	100	100	99	88	79	73	45	45	12	52,5	19,5	5	A-7-5
2	BR-116	423,5	NORTE	Silte argiloso rosa	100	100	100	100	100	100	99	86	75	71	47	47	10	41,0	14,0	4	A-7-6
2	BR-116	429,0	NORTE	Cascalho variegado	100	99	95	92	89	81	67	41	32	26	22	22	8	NL	NP	0	A-1-b
2	BR-116	431,0	NORTE	Argila siltosa amarela	100	100	100	100	100	100	100	90	83	80	77	77	67	66,9	24,9	20	A-7-5
2	BR-116	434,0	NORTE	Argila siltosa rosa	100	100	100	100	100	100	99	80	70	65	43	43	11	50,5	22,5	6	A-7-6
2	BR-116	456,0	NORTE	Silte argiloso variegado	100	100	100	100	100	100	99	92	77	61	38	38	4	36,1	16,1	2	A-6
2	BR-116	460,0	NORTE	Argila amarela	100	100	100	100	100	100	99	87	75	68	43	43	15	53,2	25,2	6	A-7-6
2	BR-116	482,0	SUL	Silte argiloso amarelo	100	100	100	100	100	100	98	93	80	64	38	38	4	35,2	16,2	2	A-6
2	BR-116	492,0	SUL	Silte argiloso vermelho	100	100	100	100	100	100	98	95	92	86	58	58	17	45,2	8,2	4	A-5

Tabela 66: Resultados dos ensaios de granulometria e determinação do grau de saturação

Amostras					Granulometria Materiais (%)					Saturação			
Campanha	Rodovia	km	Pista	Material	silte+ argila	areia fina	areia média	areia grossa	pedr.	γs admitido (g/cm3)	e (%)	S (cond. wot) (%)	S (cond. campo) (%)
1	BR-381	6,0	SUL	Subleito	79	11	10	1	-	2,70	86,4	82,9	ND
1	BR-116	402,0	NORTE	Subleito	34	22	27	9	8	2,60	23,2	55,4	61,6
1	BR-116	405,0	NORTE	Subleito	12	11	24	14	40	2,60	20,4	89,3	51,1
1	BR-116	414,0	SUL	Cascalho	15	14	49	15	7	2,60	17,4	92,5	67,1
1	BR-116	418,0	NORTE	Subleito	15	22	35	11	17	2,60	26,8	87,2	62,5
1	BR-116	423,0	NORTE	Subleito	15	16	24	13	32	2,60	23,2	91,8	47,6
1	BR-116	429,0	NORTE	Subleito	34	22	27	9	8	2,60	26,8	70,7	49,4
1	BR-116	431,0	NORTE	Subleito	16	12	42	14	16	2,60	25,0	82,3	82,2
1	BR-116	434,0	NORTE	Subleito	2	21	49	14	14	2,85	36,4	60,9	96,4
1	BR-116	456,0	NORTE	Subleito	31	24	24	9	13	2,55	27,5	75,8	89,9
1	BR-116	460,0	NORTE	Subleito	55	24	15	3	3	2,70	55,8	97,3	83,0
1	BR-116	482,0	SUL	Subleito	16	18	37	12	16	2,60	31,3	39,4	57,3
1	BR-116	492,0	SUL	Subleito	9	12	46	13	19	2,60	41,3	77,7	ND
2	BR-116	402,0	NORTE	Argila siltosa vermelha	56	26	10	7	2	2,70	80,8	67,8	ND
2	BR-116	405,0	NORTE	Cascalho variegado	14	11	10	29	37	2,60	27,8	98,3	ND
2	BR-116	413,0	NORTE	Cascalho variegado	18	15	10	33	24	2,60	29,0	95,1	ND
2	BR-116	418,1	NORTE	Argila siltosa vermelha	45	34	9	12	1	2,60	71,7	65,2	ND
2	BR-116	423,5	NORTE	Silte argiloso rosa	47	28	10	13	1	2,60	54,4	83,6	ND
2	BR-116	429,0	NORTE	Cascalho variegado	22	10	9	26	33	2,60	27,4	82,6	ND
2	BR-116	431,0	NORTE	Argila siltosa amarela	77	6	8	9	0	2,70	86,3	62,2	ND
2	BR-116	434,0	NORTE	Argila siltosa rosa	43	27	10	20	1	2,60	59,9	89,0	ND
2	BR-116	456,0	NORTE	Silte argiloso variegado	38	39	15	7	1	2,60	59,5	80,8	ND
2	BR-116	460,0	NORTE	Argila amarela	43	32	11	12	1	2,60	69,7	88,8	ND
2	BR-116	482,0	SUL	Silte argiloso amarelo	38	42	12	5	2	2,60	58,4	80,5	ND
2	BR-116	492,0	SUL	Silte argiloso vermelho	58	34	3	3	2	2,70	55,2	81,2	ND

Com base nos dados obtidos foi possível elaborar o gráfico comparativo entre os modelos de correlação direta CBR x MR da literatura e os valores da correção direta CBR x MR obtidos em laboratório.

A Figura 148 apresenta o gráfico obtido para os materiais coletados na primeira campanha, diretamente no subleito da pista de rolamento. Grande parte dos materiais foi identificada como de natureza granular (arenosa) e comportamento não-laterítico (exceto amostra do km 460). As amostras foram compactadas na energia intermediária, apresentando elevado valor de CBR (maior parte dos valores acima de 20%). Os pontos em

preto representam os resultados de laboratório para os materiais granulares (arenosos) enquanto os pontos em vermelho representam os resultados para os materiais finos (coesivos). Nota-se, porém, que no caso dos materiais granulares / arenosos, os valores de módulo de laboratório não ultrapassam o patamar de 1.100 kgf/cm² (fixando-se σ3=0,14 kgf/cm², para materiais granulares, conforme recomendado pela AASHTO). A única exceção se faz para o solo argiloso de comportamento laterítico (LG') encontrado no poço de inspeção do km 460, que apresentou valor de CBR relativamente baixo (da ordem de 5%), porém módulo de resiliência de laboratório da ordem de 9.000 kgf/cm² (fixando-se σd=0,41 kgf/cm², conforme recomendações da AASHTO). Assim sendo, observou-se fraca correlação direta entre os parâmetros CBR e MR para estas condições. Conclui-se que não se deve aplicar a correlação direta da AASHTO/93 para materiais granulares com CBR maior que 15%.

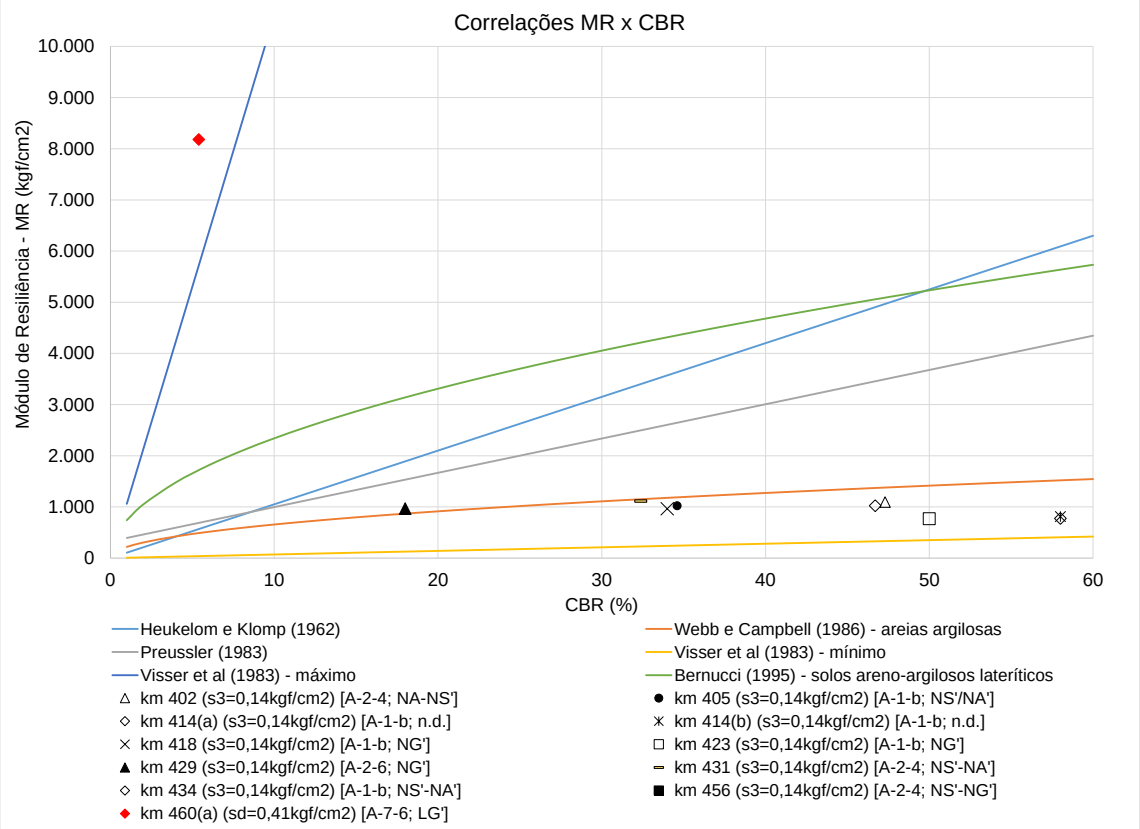


Figura 148: Correlações CBR x MR – Campanha 1 – Ensaios na energia Intermediária (modelos da literatura versus resultados obtidos)

O gráfico da Figura 149 apresenta o comparativo para a correlação CBR x MR para os materiais coletados na 2ª campanha (materiais coletados próximo à faixa de domínio da rodovia). As amostras foram compactadas na energia normal. Os pontos vermelhos

representam os resultados para os materiais finos (coesivos) enquanto os pontos em preto representam os resultados dos materiais granulares (arenosos).

Notam-se baixa aderência aos modelos da literatura, bem como fracas correlações diretas entre os valores de CBR e MR de laboratório. Com base nesta conclusão, serão propostas mais adiante, correlações para determinação do módulo de resiliência, a partir de mais parâmetros obtidos em ensaios de solos, além do próprio CBR de laboratório.

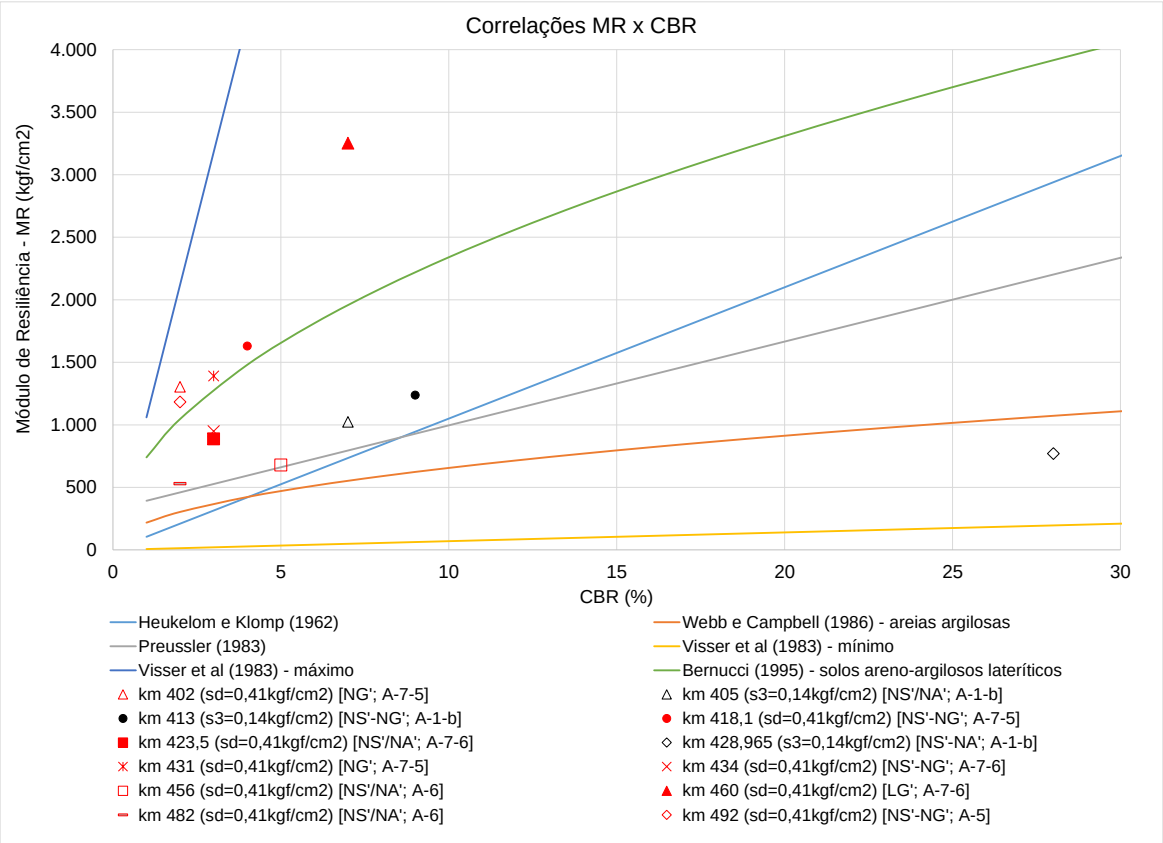


Figura 149: Correlações CBR x MR – Campanha 2 – Ensaios na energia Normal (modelos da literatura versus resultados obtidos)

A Figura 150 apresenta os gráficos do tipo boxplot para os valores de módulo de resiliência de laboratório obtidos nesta pesquisa, por tipo de solo (classificações HRB e MCT) e diferentes energias de compactação, enquanto a Figura 151 apresenta os gráficos do tipo boxplot para os valores da relação direta MR/CBR por tipo de solo (classificação HRB e MCT) e por energias de compactação utilizadas. Nota-se a elevada dispersão de valores de módulo e da relação direta MR/CBR.

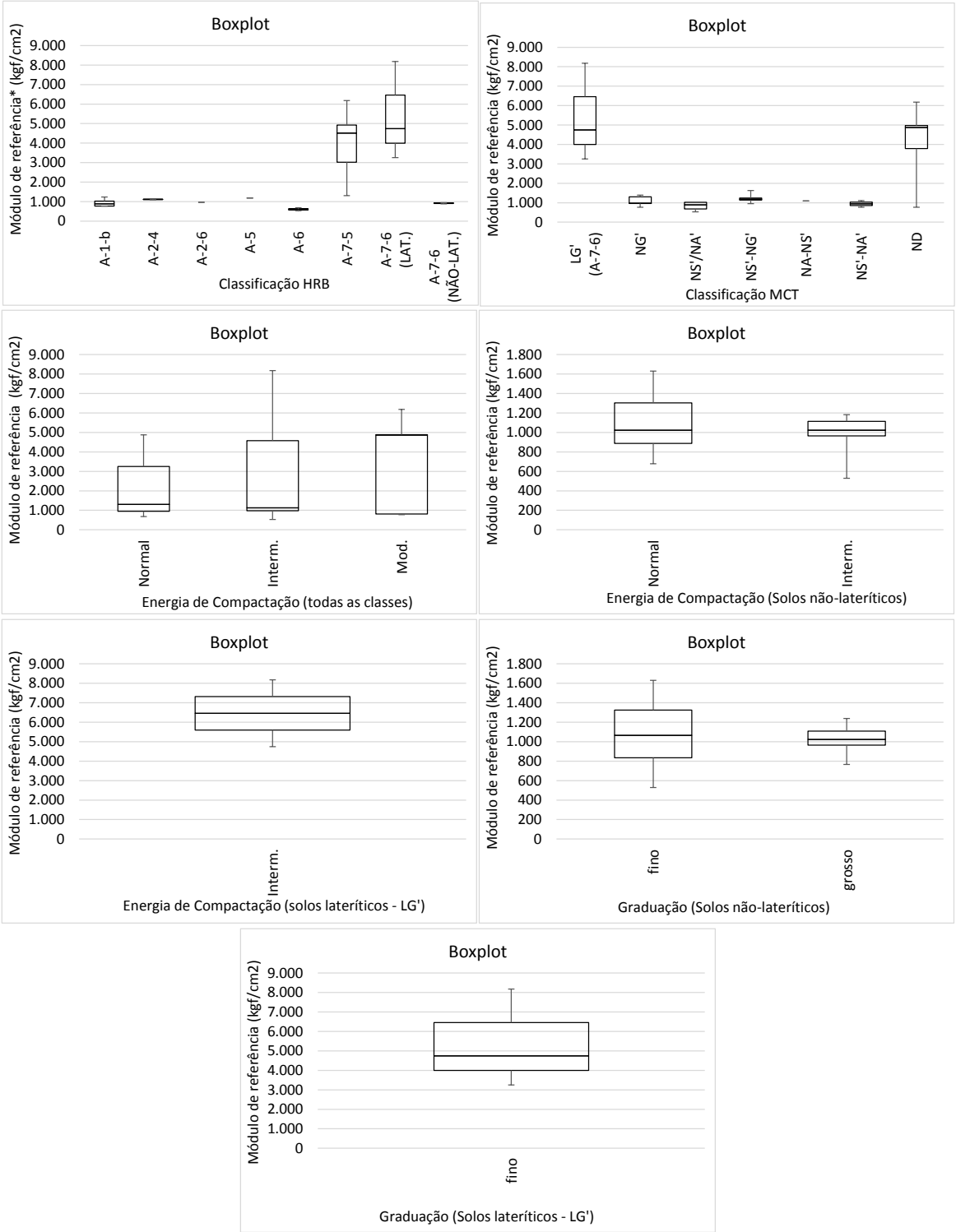


Figura 150: Gráficos boxplot dos valores de módulo de resiliência por tipo de solo e energia de compactação (estudo BR-116)

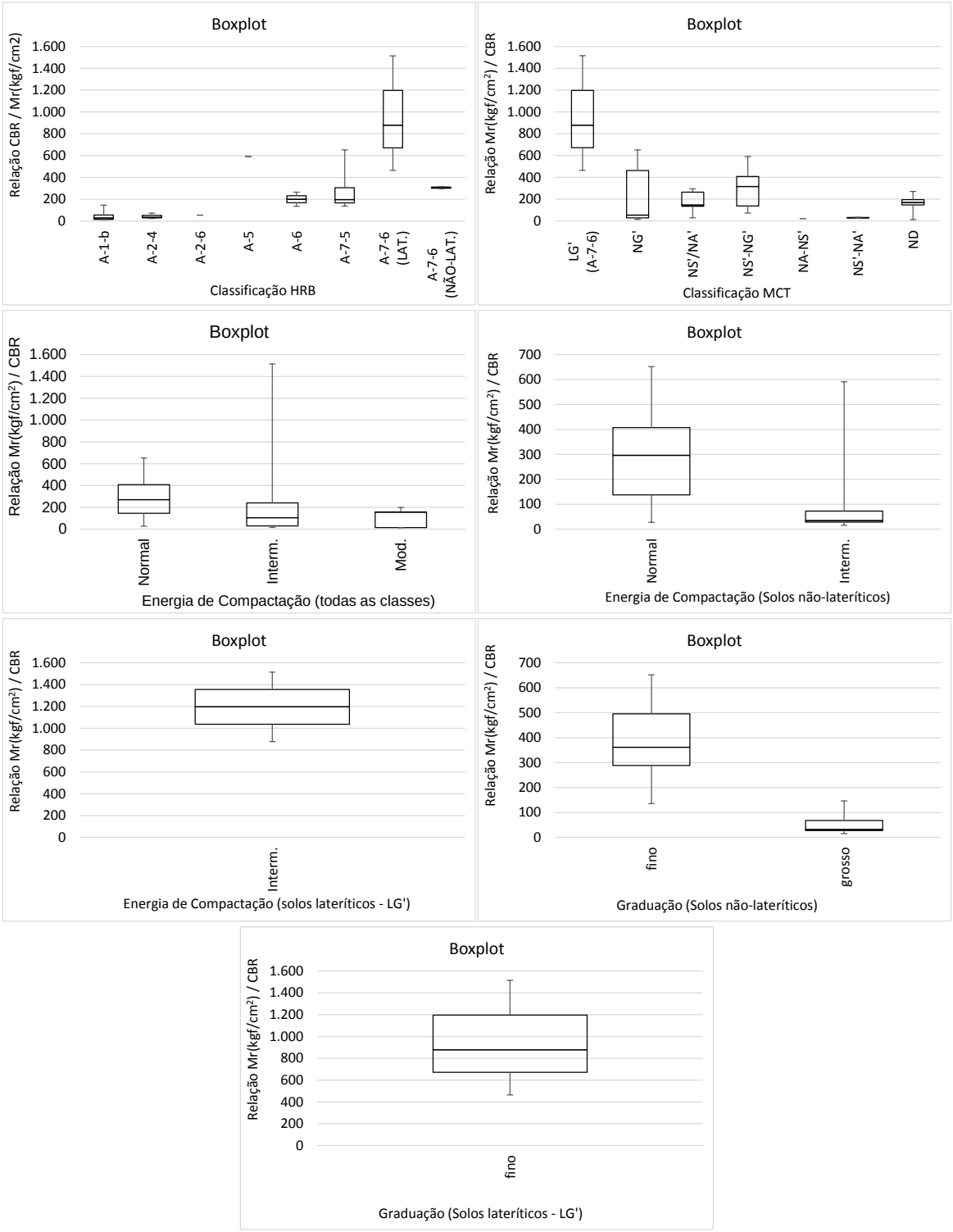


Figura 151: Gráficos boxplot dos valores individuais da relação MR/CBR por tipo de solo e energia de compactação (estudo BR-116)

Com base nos gráficos apresentados, nota-se a elevada dispersão de valores de módulo de laboratório, ainda que para um mesmo tipo de material bem como elevada dispersão da relação direta MR/CBR. Por este motivo, serão propostos nos itens subsequentes modelos que contemplam outros parâmetros do solo além do valor de CBR de laboratório.

9.1. Correlações para solos de graduação grossa

Com base no estudo anterior, optou-se por verificar uma nova correlação entre os valores de módulos e resiliência de laboratório e os parâmetros obtidos nos diversos ensaios. Para os materiais de graduação grossa (arenosos), verificaram-se boas correlações diretas entre o parâmetro k1 e as seguintes variáveis: densidade máxima aparente seca, teor de umidade, e percentual passante na peneira 200 (Figura 152). Já o parâmetro k2, apresentou boas correlações diretas com os seguintes parâmetros de ensaios: densidade máxima aparente seca, teor de umidade, e valor de CBR (Figura 153).

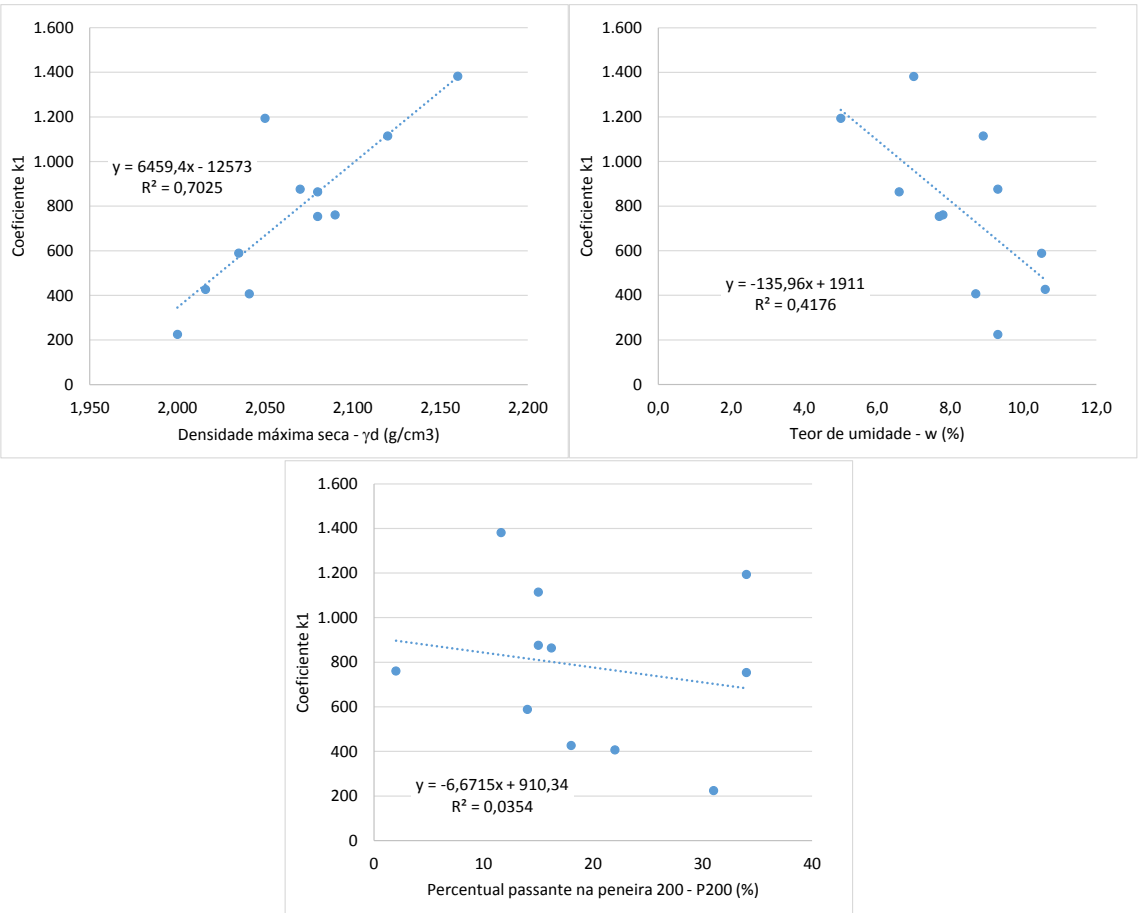


Figura 152: Correlações diretas entre o parâmetro k1 e demais parâmetros de solos de graduação grossa não lateríticos

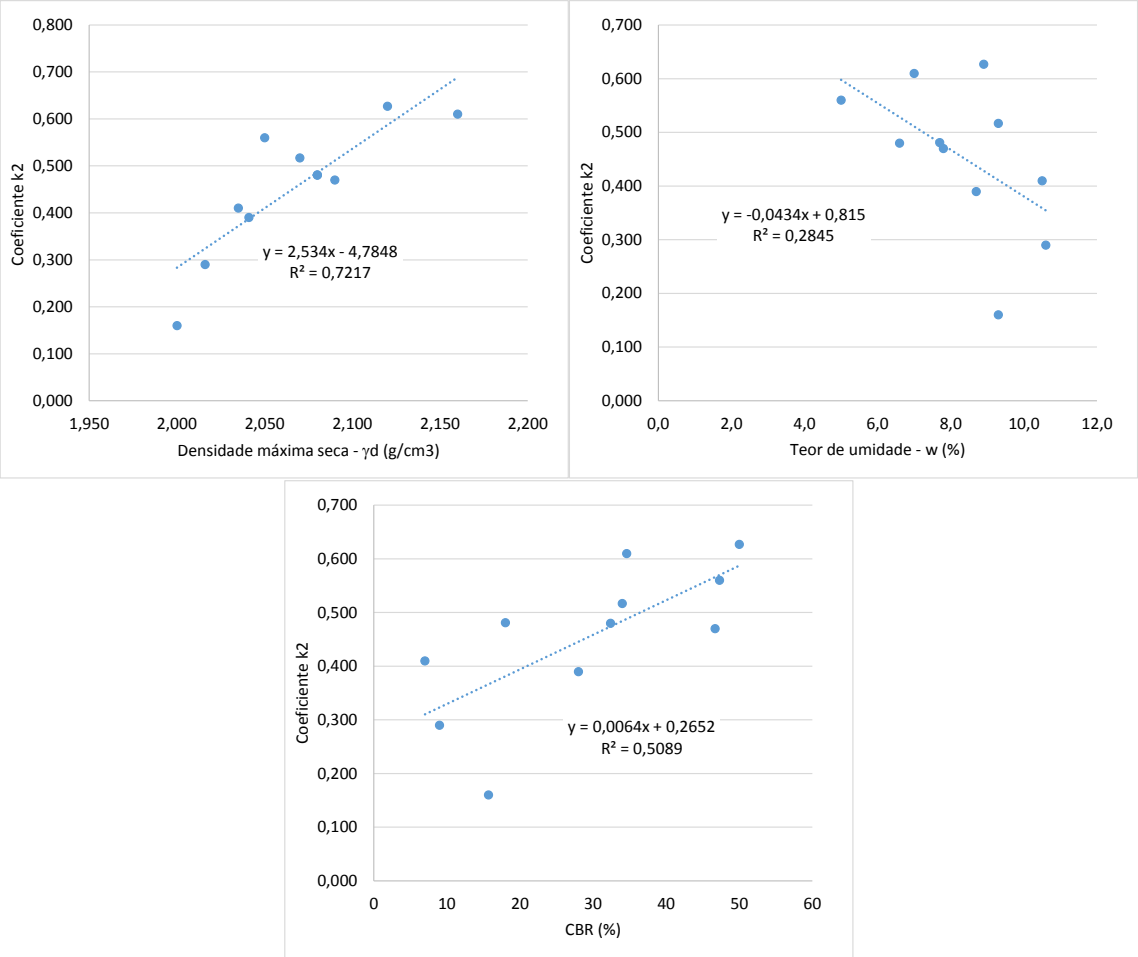


Figura 153: Correlações diretas entre o parâmetro k2 e demais parâmetros de solos de graduação grossa não lateríticos

Assim sendo, com base nos gráficos apresentados e em estudos de regressões estatísticas realizadas, propõem-se os seguintes modelos de correlação para os solos estudados na presente pesquisa de graduação grossa (arenosos) não lateríticos:

$$Mr(MPa) = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2}$$

$$k_1 = -10240 + 5584{,}4 \cdot \gamma_d - 67{,}676 \cdot w + 1{,}9511 \cdot P200 \text{ ; } R^2 = 0{,}72$$

$$k_2 = -3{,}5916 + 1{,}9505 \cdot \gamma_d - 0{,}0068 \cdot w + 0{,}0024 \cdot CBR \text{ ; } R^2 = 0{,}70$$

9.2. Correlações para os solos finos

Estudos semelhantes ao do item anterior foram realizados para os solos de graduação fina (coesivos) da presente pesquisa. Determinaram-se correlações entre parâmetros k3: valor de CBR (Figura 154); e k4: valores de CBR, densidade seca máxima, e teor de umidade (Figura 155).

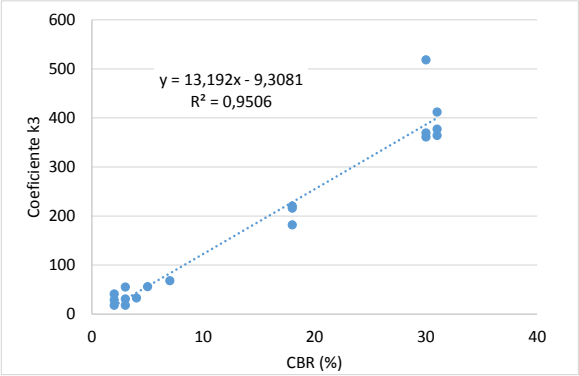


Figura 154: Correlações diretas entre o parâmetro k3 e demais parâmetros de solos de graduação fina não lateríticos

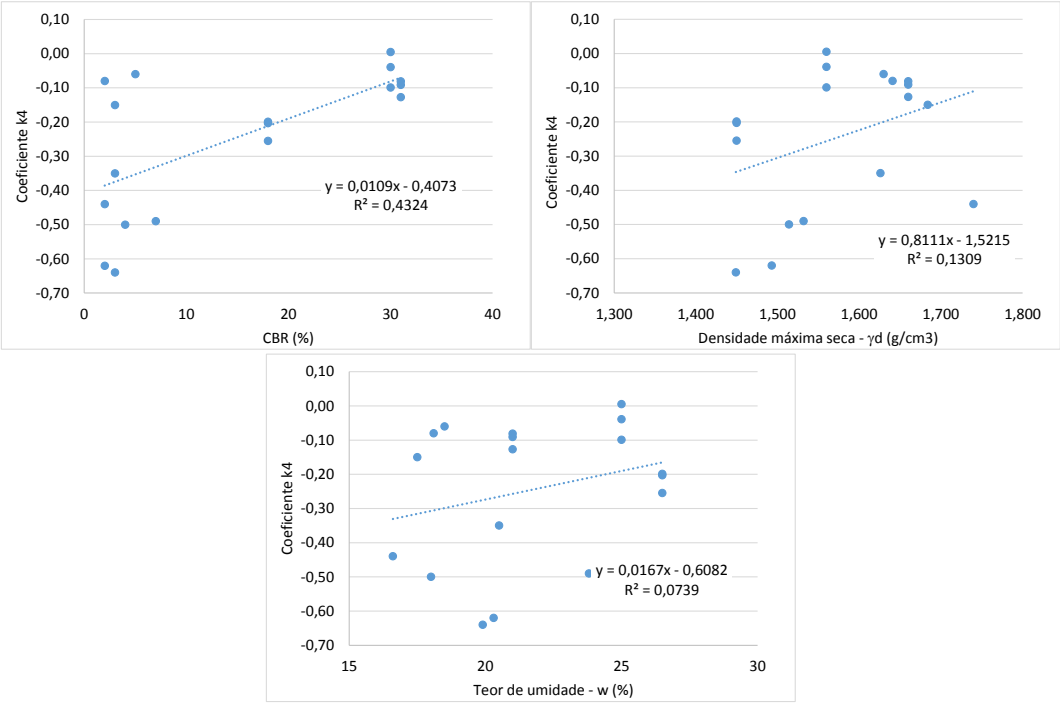


Figura 155: Correlações diretas entre o parâmetro k4 e demais parâmetros de solos de graduação fina não lateríticos

Com base nos gráficos acima e estudos de regressões estatísticas, propõem-se os seguintes modelos de correlação para os solos estudados na presente pesquisa, de graduação fina (coesivos) não lateríticos:

$$Mr(MPa) = k_3 \cdot \sigma_d^{\,k_4}$$

$$k_3 = 13{,}192 \cdot CBR - 9{,}3081;\ R^2=0{,}95$$

$$k_4 = -3{,}357 + 0{,}0058 \cdot CBR + 1{,}5046 \cdot \gamma_d + 0{,}0303 \cdot w;\ R^2=0{,}52$$

10. CONCLUSÕES

Com base nos dados coletados e nas análises realizadas na presente pesquisa, podem-se inferir algumas conclusões, entre elas:

1) Verificou-se bastante razoabilidade na aplicação do coeficiente c=0,33, proposto pela AASHTO/93, na determinação de valores de módulos do subleito retroanalisados a partir dos ensaios de FWD, com base nos estudos comparativos entre as diversas metodologias de avaliação da estrutura. A não utilização desta correção pode levar a um cenário bastante desfavorável quando das avaliações da capacidade estrutural do pavimento e dimensionamento de soluções de restauração.

2) Não é recomendável a utilização de relações diretas MR/CBR nos casos de materiais granulares com CBR superior a 12%. Nestes casos, é preferível o uso das correlações propostas a partir de parâmetros de ensaios dos materiais (densidade, umidade, valor de CBR, percentual de material fino (passante na peneira 200), entre outros. Também não foi verificada uma correlação direta adequada nos demais casos estudados (solos finos e granulares, independentemente do valor de CBR).

3) Os modelos da literatura que melhor representaram os valores obtidos em campo e laboratório na presente pesquisa foram os seguintes:

- modelo de Rada & Witczak (1981) para determinação do módulo de materiais granulares nas condições de umidade ótima e densidade máxima relativa à energia intermediária de compactação;

- modelos da AASHTO/2002 e Malla & Joshi (2006) para reproduzir os efeitos das variações das condições de umidade e densidade de campo para materiais granulares (arenosos).

4) Os modelos propostos na presente pesquisa podem ser utilizados para determinação dos módulos de subleito para materiais granulares e solos finos ocorrentes ao longo do eixo da Autopista Régis Bittencourt, desde que utilizados com critério e sempre comparando com outros valores e modelos de referência.

11. ENTIDADE OU EQUIPE EXECUTORA

A empresa que coordena os serviços é a Latina Manutenção do Grupo arteris, associada com:

- Laboratório de Tecnologia de Pavimentação – LTP – Escola Politécnica da USP;
- JMCHAVES Consultoria Ltda.

Identificação dos participantes

- Coordenador Geral: José Mário Chaves

- Equipe Centro de Desenvolvimento Tecnológico – Grupo arteris
  - Igor Amorim Beja
- Assessoramento técnico LTP
  - Liedi Bernucci
  - Kamilla Vasconcelos
  - Edson Moura
  - Rosângela Motta
  - Amanda Helena Marcandali
  - Santi Ferri
  - Rodrigo Pires Leandro
  - Tiago Vieira
  - Robson Costa

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO guide for design of pavement structures, Washington, D.C. 1986.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Reabilitated Pavement Structures. Illinois, 2002.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS.. AASHTO Guide for Pavement Structures. AASHTO, ISBN: 1-56051-055-2. Washington, D.C., 1993.

ARA CONSULTING GROUP INC. Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures. Final Report, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C. 2004.

ARANOVICH, L. A. S. (1985). Desempenho de pavimentos de baixo custo no Estado do Paraná. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 374p.

Berg, R.L., S.R. Bigi, J.A. Stark, and G.D. Durell, Resilient Modulus Testing of Materials from Mn/Road Phase 1, Minnesota Road Research Project, CRREL Report 96-19, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., Sep. 1996.

Carmichael, R.F., III and E. Stuart, "Predicting Resilient Modulus: A Study to Determine the Mechanical Properties of Subgrade Soils," Transportation Research Record 1043, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1985, pp. 145–148.

DRUMM E.C., REEVES J.S., MADGETT M.R. AND TROLINGER W.D. Subgrade Resilient Modulus Correction for Saturation Effects. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 123, No. 7, July, 1997, pp. 663-670.

DRUMM E.C., RAINWATER R.N., ANDREW J., JACKSON N.M., YODER R.E. AND WILSON G.V. Pavement Response due to Seasonal Changes in Subgrade Moisture Conditions. Proceedings of the Second Int. Conf. On Unsaturated Soils, 27-30 August, 1998, Beijing, China, Vol. 2.

BERNUCCI, L. B. (1995) Considerações sobre o Dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP.

ELLIOT, R.P., THORNTON, S.I., 1988, "Resilient Modulus and AASHTO Pavement Design", Transportation Research Record, 1196, TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Farrar, M.J. and J.P. Turner, Resilient Modulus of Wyoming Subgrade Soils, MPC Report No. 91-1, Mountain Plains Consortium, Fargo, N.D., 1991.

FERRI, S (2013) Critérios de aceitação e controle da qualidade da execução de camadas de fundação de pavimentos novos através de métodos deflectométricos. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP.

Fleming, P.R., Frost, M.W., Rogers, C.D.F. (2000) "A Comparison of Devices for Measuring Stiffness In Situ," Proceedings of the Fifth International Conference on Unbound Aggregate In Roads, Nottingham, United Kingdom.

George, K.P. (2004) Resilient Modulus Prediction Employing Soil Index Properties. Relatório Final FHWA/MS-DOT-RD-04-172, Agosto 2004.

George, K.P., Waheed Uddin (2000) “Subgrade Characterization for Highway Pavement Design”, Relatório Final, Mississippi Department of Transportation, December 2000.

Green. J. L., and Hall. J. W.. Jr. (1975). "Nondestructive vihratory testing of airport pavements: Experimental test results and development of evaluation methodology and procedure. Report No. FAA -R D73- 205. Vol. I, Federal Aviation Admin .. Washington. D.C.

Gudishala, Ravindra (2004) Development of Resilient Modulus Prediction Models for Base and Subgrade Pavement Layers from In Situ Devices Test Results. Dissertação de Mestrado, Louisiana State University, Dezembro 2004.

Heukelom, W., A.J.G. Klomp (1962) “Dynamic Testing as a Means of Controlling Pavements During and After Construction,” Proceedings of the First International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan.

Huang, Y. (1993) Pavement Analysis and Design, Prentice-Hall, Inc.

Hudson, J.M., E.C. Drumm, and M. Madgett, Design Handbook for the Estimation of Resilient Response of Fine-Grained Subgrades, Proceedings of the 4th International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, University of Minnesota, Minneapolis, Vol. 2, 1994, pp. 917–931.

HVEEM, F.N. (1955). Pavement Deflections and fatigue failures. 34th annual Meeting, HRB Bulletin 114, pp 43-73.

LI D. AND SELIG E.T. Resilient Modulus for Fine Grained Subgrade Soils. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120, No. 6, June, 1994, pp. 939-957.

JIN M.S., LEE K.W. AND KOVACS W.D. Seasonal Variation of Resilient Modulus of Subgrade Soils. ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 120, No.4, July/August, 1994, pp. 603-616.

JONES M.P. AND WITCZAK M.W. Subgrade Modulus on the San Diego Test Road. Transportation Research Record 641, TRB, National Research Council, 1977, Washington, D.C., pp. 1-6.

Lister, N. W.. and Powell. D. (1987). "Design practices for pavements in the United Kingdom." Proc. 61h Int. ConI OIl the Struct. Design of Asphall Pavements. Ann Arhor. Mich.

Malla, R.B. and S. Joshi, Establish Subgrade Support Values for Typical Soils in New England, Report No. NETCR 57, New England Transportation Consortium, Fall River, Mass., Apr. 2006.

Mohammad, L.N., Puppala, A., Alavilli, P. (1995) Resilient Properties of Laboratory Compacted Subgrade Soils, National Academy of Science, Transportation Research Record No. 1504, pp 87-102.

Pezo, R.F. and W.R. Hudson, “Prediction Models of Resilient Modulus for Nongranular Materials,” Geotechnical Testing Journal, Vol. 17, No. 3, 1994, pp. 349–355.

PINTO, C.S. (1964). Primeira pesquisa por equipe. Estudo da dispersão do ensaio CBR. Boletim Técnico no. 6. Associaçao Brasileira de Pavimentação. Rio de Janeiro.

PORTER, O.J. (1942). Foundations for Flexible Pavements. HRB 22. Pg 100-136.

PORTER, O.J. (1950). Development of the original method for Highway design. ASCE. Vol 115. Pg 461-467.

Powell, W.D., J.F. Potter, H.C. Mayhew, and M.E. Nunn, The Structural Design of Bituminous Roads, TRRL Report LR 1132, Department of Transport, Berkshire, U.K., 1984.

PREUSSLER, E.S. (1983). Estudo da deformação resiliente de pavimentos flexíveis e aplicação ao projeto de camada de reforço. Tese de doutorado. COPPE-UFRJ.

Rada, G., M. W. Witczak (1981) "Comprehensive Evaluation of Laboratory Resilient Moduli Results for Granular Materials", Transportation Research Record 810, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp 23-33.

SANTHA B.L. Resilient Modulus of Subgrade Soils: Comparison of Two Constitutive Equations. Transportation Research Record 1462, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1994, pp. 79-90.

SEED H.B., CHAN C.K., AND LEE C.E. Resilience characteristics of subgrade soils and their relation to fatigue failures in asphalt pavement. Proc. First Int. Conf. On Struct. Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, Ann Arbor, 1962.

SEED, H.B. et al. (1958). Effects of repeated loading os the strength and deformation of compacted clay. 34th Annual meeting. HRB. Pg.541-558.

Seed, H.B., Chan, C.K., Lee, C.E. (1962) Resilience characteristics of subgrade soils and their relation to fatigue failures in asphalt pavements. Proc. 1st Int. Conf. On the Struct. Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, Mich, p.77-113.

TAKEDA, M.C., 2006, A Influência da Variação da Umidade Pós-compactação no Comportamento Mecânico de Solos de Rodovias do Interior Paulista, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Paulo.

Thompson, M.R., Q.L Robnett (1976) "Resilient properties of subgrade soils." Journal of Transportation Engineering, ASCE, 105(1), 1976, 71-89.

Thompson, M.R. and T.G. LaGrow, A Proposed Conventional Flexible Pavement Thickness Design Procedure, FHWA-IL-UI-223. Illinois University, Urbana–Champaign, Dec. 1988, 47 pp.

Titi, H., B. Elias, and S. Helwany, Determination of Typical Resilient Modulus Values for Selected Soils in Wisconsin, SPR 0092-03-11, Wisconsin Department of Transportation, University of Wisconsin, Milwaukee, May 2006.

Van Til, McCullough, B., Vallerga, B., Hicks, R. (1972) Evaluation of AASHTO Interim Guides for Design of Pavement Structures, NCHRP 128, Highway Research Board.

VENDRAMINI, C.A. e PINTO, C.S. (1974). CBR em função do processo de compactação. V Congr. Brasileiro de Mec Solos. Vol II pg 71-83.

Witczak, Matthew W., Xicheng Qi, Muhmmad W. Mirza (1995) "Use of Non-Linear Subgrade Modulus in AASHTO Design Procedure", Journal of Transportation Engineering May/June 1995.

WSDOT EVERSERIES USER GUIDE. Pavement Analysis Computer Software and Case Studies. Washington State Department of Transportation, 2005.

Yau, A. and H. Von Quintus, Study of LTPP Laboratory Resilient Modulus Test Data and Response Characteristics, Report No. FHWA-RD-02-051, Federal Highway Administration, McLean, Va., Oct. 2002.

Yau, A. and H. Von Quintus, “Predicting Elastic Response Characteristics of Unbound Materials and Soils,” Transportation Research Record 1874, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2004, pp. 47–56.

13. ANEXO – RESULTADOS DE SONDAGENS E ENSAIOS

POÇOS DE INSPEÇÃO

Figura 156: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 402 (Pista Norte)

Onde:

(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova;
(iv) Extração de CP's em base cimentada;
(v) Ensaio LWD da camada de BGS;
(vi) Ensaio de massa especifica camada de BGS;
(vii) Ensaio LWD da camada subjacente;
(viii) Ensaio de massa especifica camada subjacente;
(ix) Placas extraídas;
(x) Fechamento com a primeira camada de BGS;
(xi) Fechamento final com CBUQ;
(xii) Trabalho concluído.

Figura 157: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 405 (Pista Norte)

Onde:

(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova da camada de Concreto Betuminoso (CB);
(iv) Ensaio LWD da camada de base composta por Brita Graduada Simples (BGS);
(v) Ensaio de frasco de areia em camada de base;
(vi) Coleta do material da camada de base;
(vii) Ensaio LWD no subleito;
(viii) Ensaio de frasco de areia no subleito;
(ix) Fechamento da primeira camada com BGS;
(x) Aplicação da pintura de ligação;
(xi) Camada acabada em concreto betuminoso.

Figura 158: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 414 (Pista Sul)

Onde:

(i) Demarcação e abertura do poço de inspeção;
(ii) Sondagem com sonda rotativa (km 414);
(iii) Extração e medição de corpos de prova;
(iv) Inspeção visual da camada subjacente;
(v) Ensaio de densidade “in situ” (funil e areia);
(vi) Ensaio de umidade “in situ” (fogareiro);
(vii) Coleta de amostras para ensaios de laboratório;
(viii) Coleta de amostras para ensaios;
(ix) Ensaio deflectométrico “in situ” com equipamento tipo LWD.

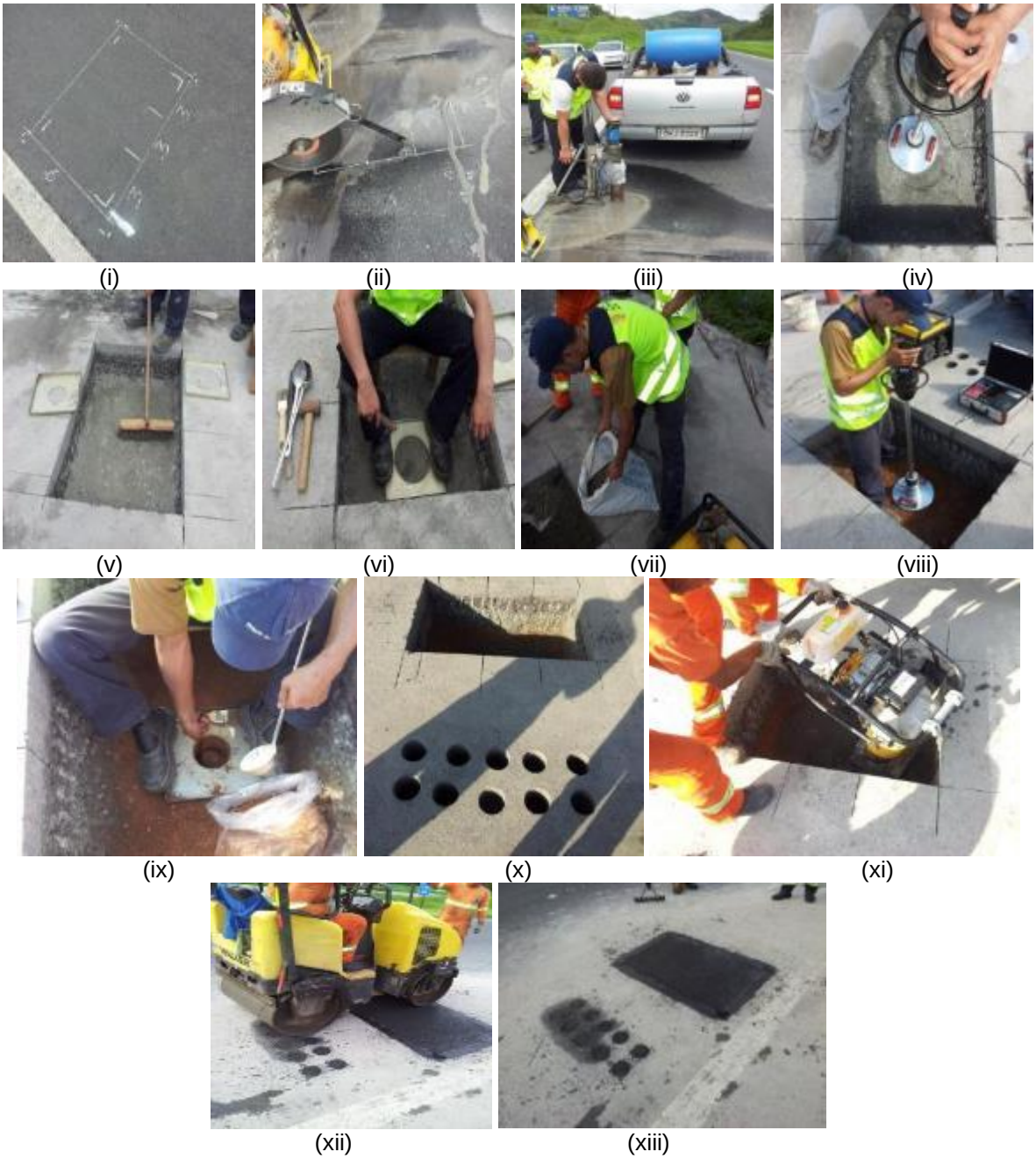


Figura 159: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 418 (Pista Norte)

Onde:

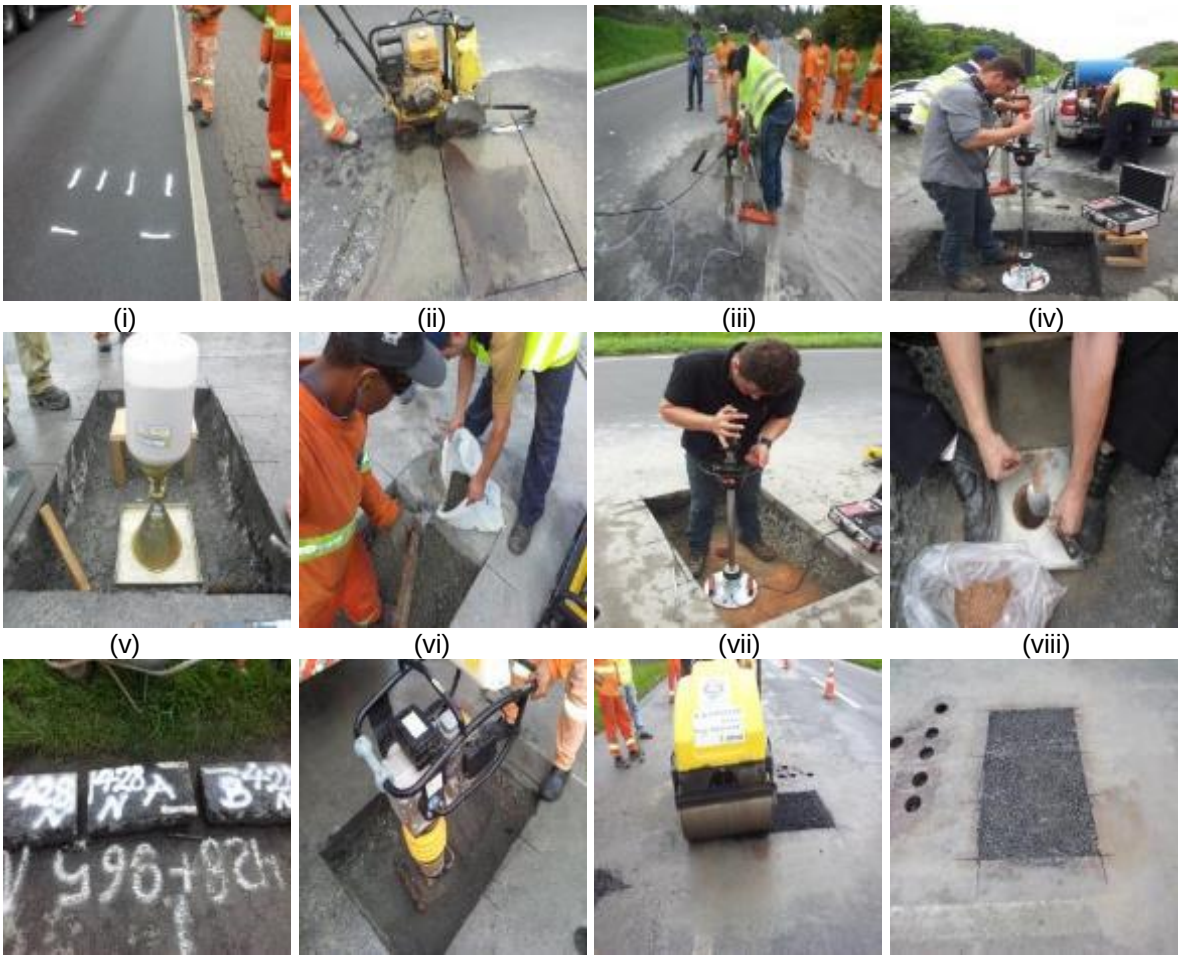
- (i) Marcação para abertura das janelas;
- (ii) Corte das placas;
- (iii) Extração de corpos de prova;
- (iv) Ensaio LWD na camada de BGS;
- (v) Limpeza da camada;
- (vi) Ensaio de massa especifica BGS;
- (vii) Coleta de amostras;
- (viii) Ensaio LWD da camada subjacente;
- (ix) Ensaio de massa especifica camada subjacente;
- (x) Placas e corpos de prova extraídos;
- (xi) Fechamento com a primeira camada de BGS;
- (xii) Fechamento final com CBUQ;

(xiii) Trabalho concluído.

Figura 160: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 423 (Pista Norte)

Sendo:

(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova;
(iv) Ensaio LWD na camada de BGS;
(v) Ensaio de massa especifica BGS;
(vi) Coleta de amostras;
(vii) Ensaio LWD da camada subjacente;
(viii) Ensaio de massa especifica camada subjacente;
(ix) Placas extraídas;
(x) Fechamento com a primeira camada de BGS;
(xi) Fechamento final com CBUQ;
(xii) Trabalho concluído.



(i) (ii) (iii) (iv)

(v) (vi) (vii) (viii)

(ix) (x) (xi) (xii)

Figura 161: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 429 (Pista Norte)

Onde:

(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova;
(iv) Ensaio LWD na camada de BGS;
(v) Ensaio de massa especifica BGS;
(vi) Coleta de amostras;
(vii) Ensaio LWD da camada subjacente;
(viii) Ensaio de massa especifica camada subjacente;
(ix) Placas extraídas;
(x) Fechamento com a primeira camada de BGS;
(xi) Fechamento final com CBUQ;
(xii) Trabalho concluído.

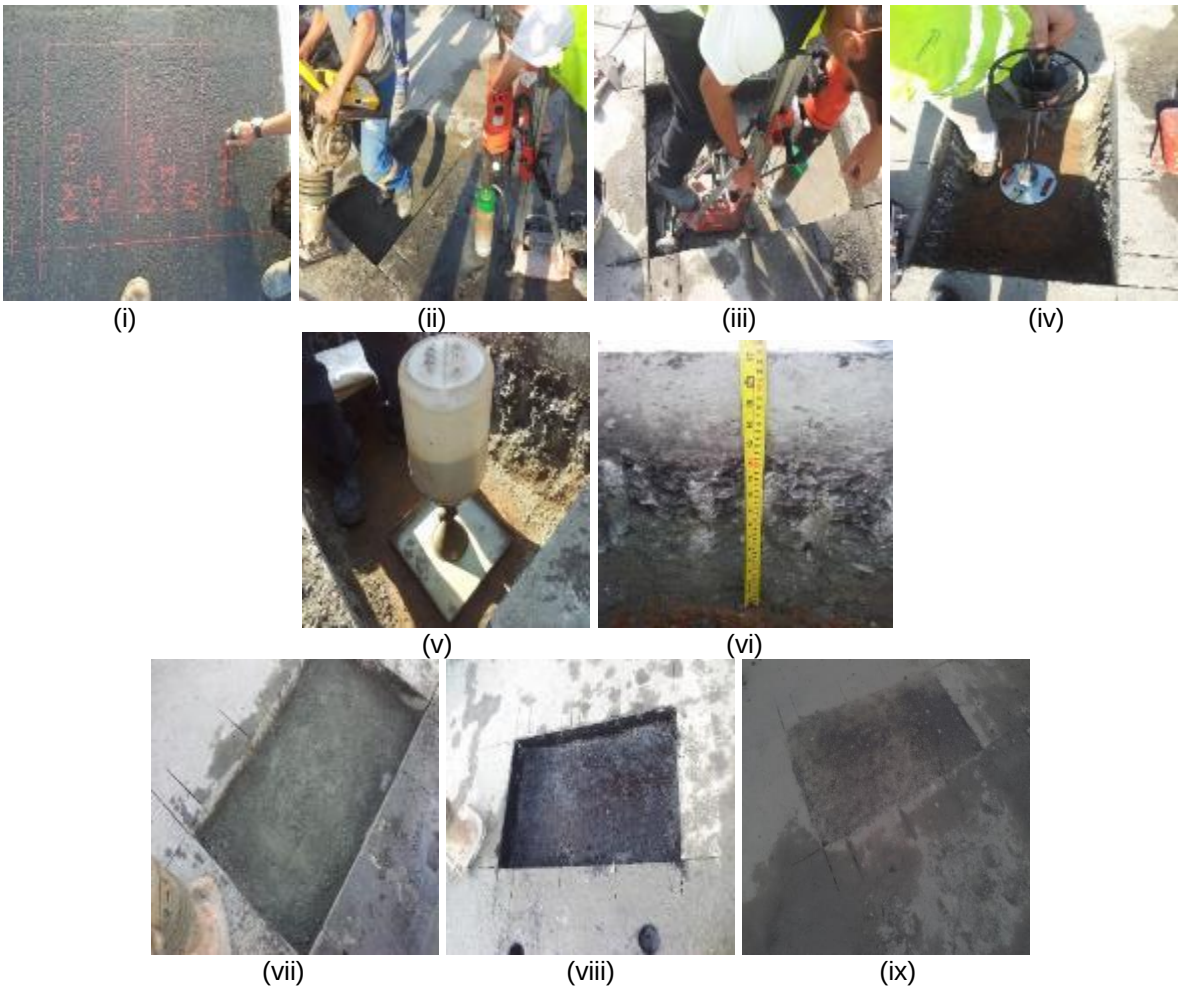


Figura 162: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 431 (Pista Norte)

Onde:

- (i) Marcação para abertura das janelas;
- (ii) Corte das placas e extração de corpos de prova da camada de Concreto Betuminoso (CB);
- (iii) Extração de corpos de prova da camada de base cimentada;
- (iv) Ensaio LWD da camada no solo de subleito;
- (v) Ensaio de frasco de areia no solo do subleito;
- (vi) Verificação da espessura das camadas;
- (vii) Fechamento com Brita Graduada Simples (BGS);
- (viii) Pintura de ligação na BGS;
- (ix) Fechamento da última camada com CB.

(i) (ii) (iii) (iv)

(v) (vi) (vii)

(viii) (ix) (x) (xi)

Figura 163: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 434 (Pista Norte)

Onde:

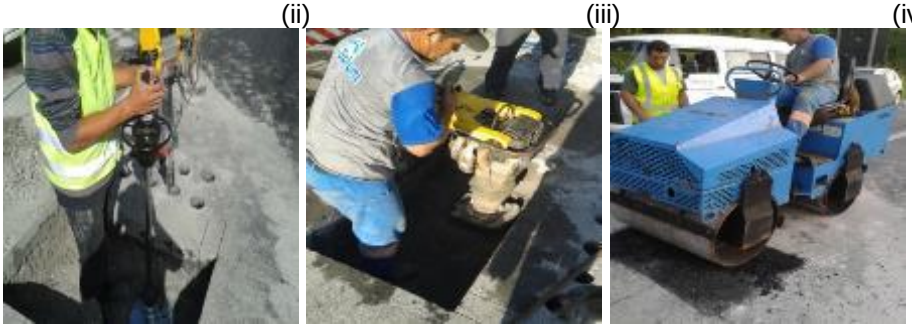
(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova da camada de Concreto Betuminoso (CB);
(iv) Extração de corpos de prova da camada cimentada;
(v) Ensaio LWD da camada de sub-base composta por Brita Graduada Simples (BGS);
(vi) Ensaio de frasco de areia da camada de sub-base composta por BGS;
(vii) Determinação das espessuras de camadas;
(viii) Preparo do ensaio LWD da camada de subleito;
(ix) Ensaio de frasco de areia da camada de subleito;
(x) Fechamento com camada de BGS;
(xi) Conclusão dos trabalhos com camada final em CBUQ.

Figura 164: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 456 (Pista Norte)

Onde:

(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova da camada de Concreto Betuminoso (CB);
(iv) Extração de corpos de prova da camada de ligação;
(v) Ensaio LWD da camada de sub-base composta por Brita Graduada Simples (BGS);
(vi) Ensaio de frasco de areia da camada de sub-base composta por BGS;
(vii) Coleta do material da camada de sub-base composta por BGS;
(viii) Ensaio LWD da camada de subleito;
(ix) Ensaio de frasco de areia da camada de subleito;
(x) Coleta do material da camada de subleito;
(xi) Fechamento da primeira camada com BGS;
(xii) Fechamento última camada com CA.

(i) (ii) (iii) (iv)

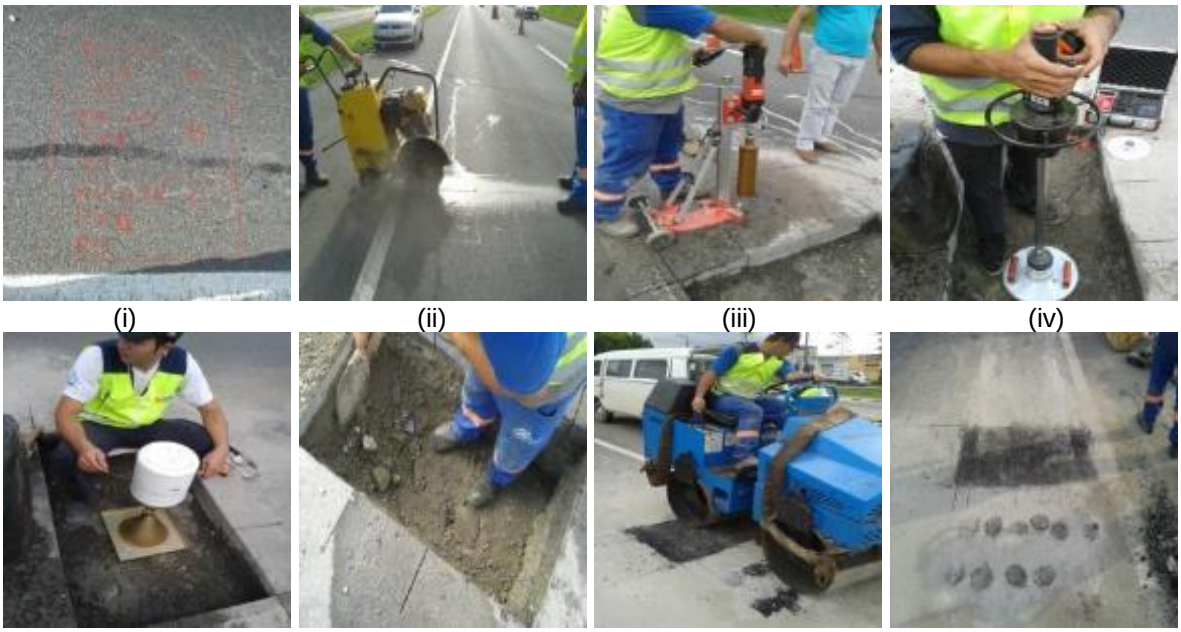


(v) (vi) (vii)

Figura 165: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 460 (Pista Norte)

Onde:

(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova do revestimento com sonda rotativa;
(iv) Extração de corpos de prova de base betuminosa com sonda rotativa;
(v) Ensaio de LWD na camada subjacente;
(vi) Fechamento com camada de brita graduada simples;
(vii) Fechamento final com concreto asfáltico betuminoso.



(i) (ii) (iii) (iv)

(v) (vi) (vii) (viii)

Figura 166: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 477 (Pista Sul)

Onde:

(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova do revestimento com sonda rotativa;
(iv) Ensaio de LWD em camada granular tipo brita graduada simples;
(v) Ensaio de frasco de areia em camada granular;
(vi) Cota de sub-base: camada de rachão;
(vii) Fechamento final com concreto asfáltico betuminoso;
(viii) Trabalho concluído.

Figura 167: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 482 (Pista Sul)

Onde:

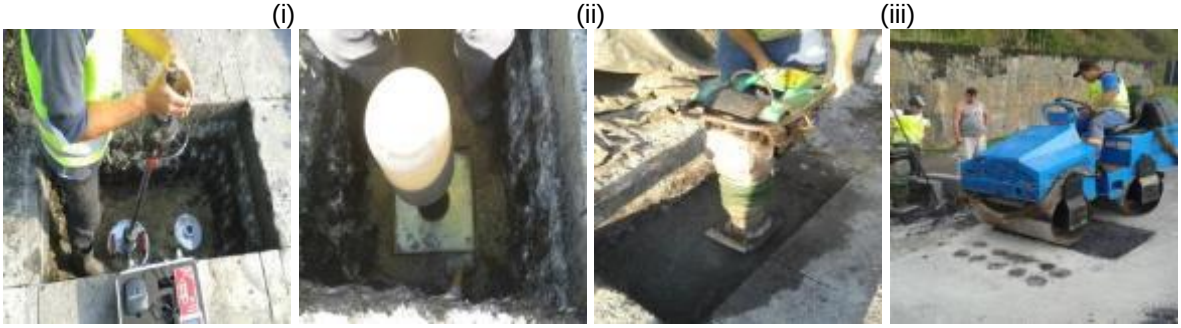
(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova do revestimento com sonda rotativa;
(iv) Extração de corpos de prova de base betuminosa com sonda rotativa;
(v) Ensaio de LWD na camada subjacente;
(vi) Fechamento com camada de brita graduada simples;
(vii) Fechamento final com concreto asfáltico;
(viii) Trabalho concluído.

Figura 168: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 492 (Pista Sul)

Onde:

(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova do revestimento com sonda rotativa;
(iv) Extração de corpos de prova de base betuminosa com sonda rotativa;
(v) Ensaio de LWD na camada subjacente;
(vi) Fechamento com camada de brita graduada simples;
(vii) Fechamento final com concreto asfáltico betuminoso;
(viii) Trabalho concluído.

(i) (ii) (iii)



(iv) (v) (vi) (vii)

Figura 169: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 521 (Pista norte)

Onde:

(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova do revestimento com sonda rotativa;
(iv) Ensaio de LWD no subleito;
(v) Ensaio de frasco de areia no subleito;
(vi) Fechamento com camada de brita graduada simples;
(vii) Fechamento final com concreto asfáltico betuminoso.

Figura 170: Etapas de trabalho do poço de inspeção km 523 (Pista Norte)

Onde:

(i) Marcação para abertura das janelas;
(ii) Corte das placas;
(iii) Extração de corpos de prova do revestimento com sonda rotativa;
(iv) Extração de corpos de prova de base betuminosa com sonda rotativa;
(v) Verificação da espessura de PMQ existente: > 70 cm;
(vi) Fechamento com camada de brita graduada simples;
(vii) Fechamento final com concreto asfáltico betuminoso;
(viii) Trabalho concluído.

ENSAIO COM LWD

Tabela 67: Resultados dos ensaios com LWD – BGS (km 402)

Ensaio LWD			Ensaio LWD			Ensaio LWD		
Material:	BGS		Material:	BGS		Material:	BGS	
1º ponto			2º ponto			3º ponto		
KM	402		KM	402		KM	402	
Nº ensaio:	1	Camada: 1	Nº ensaio:	3	Camada: 1	Nº ensaio:	5	Camada: 2
Data:	17/06/2014	Operador: Diogo	Data:	17/06/2014	Operador: Diogo	Data:	17/06/2014	Operador: Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	n	Sn(mm)	Vn(mm)	n	Sn(mm)	Vn(mm)
1	0,674	83,7	1	0,355	221,59	1	0,494	152,52
2	0,671	99,57	2	0,368	213,22	2	0,512	156,49
3	0,627	116,88	3	0,342	234,21	3	0,516	161,93
MW	0,657	100,1	MW	0,355	223	MW	0,507	157
EVD=	34,25	Mpa	EVD=	63,38	Mpa	EVD=	44,38	Mpa
S/V=	6,563	ms	S/V=	1,591	ms	S/V=	3,229	ms
t=	5	ms/d.	t=	5	ms/d.	t=	5	ms/d.
s=	0,1	mm/d	s=	0,1	mm/d	s=	0,1	mm/d

Tabela 68: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 402)

Ensaio LWD			Ensaio LWD			Ensaio LWD		
Material:	Subleito		Material:	Subleito		Material:	Subleito	
1º ponto			2º ponto			3º ponto		
KM	402		KM	402		KM	402	
Nº ensaio:	7	Camada: 2	Nº ensaio:	9	Camada: 2	Nº ensaio:	11	Camada: 2
Data:	17/06/2014	Operador: Diogo	Data:	17/06/2014	Operador: Diogo	Data:	17/06/2014	Operador: Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	n	Sn(mm)	Vn(mm)	n	Sn(mm)	Vn(mm)
1	0,401	197,85	1	0,674	124,86	1	0,343	252,65
2	0,386	214,1	2	0,622	140,83	2	0,35	246,65
3	0,357	231,09	3	0,616	150,79	3	0,339	260,13
MW	0,381	214,3	MW	0,637	138,8	MW	0,344	253,1
EVD=	59,06	Mpa	EVD=	35,32	Mpa	EVD=	65,41	Mpa
S/V=	1,777	ms	S/V=	4,589	ms	S/V=	1,359	ms
t=	5	ms/d.	t=	5	ms/d.	t=	5	ms/d.
s=	0,1	mm/d	s=	0,1	mm/d	s=	0,1	mm/d

Tabela 69: Resultados dos ensaios com LWD – BGS (km 405)

Ensaio LWD			Ensaio LWD			Ensaio LWD		
Material:	BGS (Camada de base)		Material:	BGS (Camada de base)		Material:	BGS (Camada de base)	
Leitura 1 do 1º ponto			Leitura 1 do 2º ponto			Leitura 1 do 3º ponto		
KM	405+000		KM	405+000		KM	405+000	
Nº ensaio:	13	Camada: 1	Nº ensaio:	15	Camada: 1	Nº ensaio:	17	Camada: 1
Data:	16/06/2014	Operador: Diogo	Data:	16/06/2014	Operador: Diogo	Data:	16/06/2014	Operador: Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	N	Sn(mm)	Vn(mm)	n	Sn(mm)	Vn(mm)
1	0,23	272,25	1	0,283	325,41	1	0,273	302,69
2	0,237	286,82	2	0,275	323,11	2	0,28	319,85
3	0,237	289,98	3	0,283	319,69	3	0,279	319,43
MW	0,235	283	MW	0,28	322,7	MW	0,277	314
EVD=	95,74	Mpa	EVD=	80,36	Mpa	EVD=	81,23	Mpa
S/V=	0,83	ms	S/V=	0,867	ms	S/V=	0,882	ms
t=	5	ms/d.	t=	5	ms/d.	t=	5	ms/d.
s=	0,05	mm/d	s=	0,05	mm/d	s=	0,05	mm/d

Tabela 70: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 405)

Ensaio LWD			Ensaio LWD			Ensaio LWD		
Material:	Solo (subleito)		Material:	Solo (subleito)		Material:	Solo (subleito)	
Leitura 1 do 1º ponto			Leitura 1 do 2º ponto			Leitura 1 do 3º ponto		
KM	405+000		KM	405+000		KM	405+000	
Nº ensaio:	19	Camada: 1	Nº ensaio:	21	Camada: 1	Nº ensaio:	23	Camada: 1
Data:	16/06/2014	Operador: Diogo	Data:	16/06/2014	Operador: Diogo	Data:	16/06/2014	Operador: Diogo
N	Sn(mm)	Vn(mm)	n	Sn(mm)	Vn(mm)	N	Sn(mm)	Vn(mm)
1	0,353	248,31	1	0,872	149,46	1	0,486	101,4
2	0,337	261,3	2	0,81	166,8	2	0,487	115,89
3	0,338	256,75	3	0,831	177,13	3	0,434	132,68
MW	0,343	255,5	MW	0,838	164,5	MW	0,469	116,7
EVD=	65,6	Mpa	EVD=	26,85	Mpa	EVD=	47,97	Mpa
S/V=	1,342	ms	S/V=	5,94	Ms	S/V=	4,18	ms
t=	5	ms/d.	t=	5	ms/d.	t=	5	ms/d.
s=	0,1	mm/d	s=	0,1	mm/d	s=	0,1	mm/d

Tabela 71: Resultados dos ensaios com LWD – BGS (km 418)

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 1 do 1º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	28	Camada:	1
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,301	282,42	
2	0,341	270,55	
3	0,437	253,83	
MW	0,36	268,9	
EVD=	62,5	Mpa	
S/V=	1,338	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 2 do 1º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	29	Camada:	1
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,269	301,62	
2	0,251	321,86	
3	0,239	322,34	
MW	0,253	315,3	
EVD=	88,93	Mpa	
S/V=	0,802	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,05	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 1 do 2º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	30	Camada:	1
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,474	215,25	
2	0,83	127,09	
3	0,465	229,09	
MW	0,59	190,5	
EVD=	38,14	Mpa	
S/V=	3,97	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,2	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 2 do 2º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	31	Camada:	1
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,497	224,74	
2	0,441	242,22	
3	0,592	204,26	
MW	0,51	223,7	
EVD=	44,12	Mpa	
S/V=	2,279	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 1 do 3º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	32	Camada:	1
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,277	309,09	
2	0,281	299,83	
3	0,267	306,28	
MW	0,275	305,1	
EVD=	81,82	Mpa	
S/V=	0,901	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,05	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 2 do 3º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	33	Camada:	1
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,26	322,32	
2	0,26	324,34	
3	0,26	318,15	
MW	0,26	321,6	
EVD=	86,54	Mpa	
S/V=	0,808	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,05	mm/d	

Tabela 72: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 418)

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 1 do 1º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	34	Camada:	2
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,392	214,82	
2	0,377	226,44	
3	0,36	238,4	
MW	0,376	226,6	
EVD=	59,84	Mpa	
S/V=	1,659	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 2 do 1º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	35	Camada:	2
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,426	199,1	
2	0,346	249,84	
3	0,322	260,88	
MW	0,365	236,6	
EVD=	61,64	Mpa	
S/V=	1,542	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 1 do 2º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	36	Camada:	2
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,348	225,22	
2	0,34	231,63	
3	0,321	257,18	
MW	0,336	238	
EVD=	66,96	Mpa	
S/V=	1,411	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 2 do 2º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	37	Camada:	2
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,311	264,61	
2	0,303	268,36	
3	0,299	275,95	
MW	0,304	269,6	
EVD=	74,01	Mpa	
S/V=	1,127	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 1 do 3º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	38	Camada:	2
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,882	150,61	
2	0,969	139,72	
3	0,905	143,98	
MW	0,919	144,8	
EVD=	24,48	Mpa	
S/V=	6,346	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,2	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 2 do 3º ponto			
KM	418+009		
Nº ensaio:	39	Camada:	2
Data:	14/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,918	157,75	
2	0,929	155,51	
3	0,927	164,14	
MW	0,925	159,1	
EVD=	24,32	Mpa	
S/V=	5,813	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,2	mm/d	

Tabela 73: Resultados dos ensaios com LWD – BGS (km 423)

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 1 do 1º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	16	Camada:	1
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,321	285,29	
2	0,331	285,98	
3	0,322	291,67	
MW	0,325	287,6	
EVD=	69,23	Mpa	
S/V=	1,13	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 2 do 1º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	17	Camada:	1
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,32	293,67	
2	0,32	295,74	
3	0,356	286,68	
MW	0,332	292	
EVD=	67,77	Mpa	
S/V=	1,136	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 1 do 2º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	18	Camada:	1
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,474	235,55	
2	0,478	232,12	
3	0,445	252,1	
MW	0,466	239,9	
EVD=	48,28	Mpa	
S/V=	1,942	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 2 do 2º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	19	Camada:	1
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,474	255,87	
2	0,424	264,02	
3	0,428	270,91	
MW	0,442	263,6	
EVD=	50,9	Mpa	
S/V=	1,676	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 1 do 3º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	20	Camada:	1
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,355	289,66	
2	0,3	313,06	
3	0,302	312,38	
MW	0,319	305	
EVD=	70,53	Mpa	
S/V=	1,45	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	BGS		
Leitura 2 do 3º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	21	Camada:	1
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,282	320,97	
2	0,277	322,49	
3	0,271	324,11	
MW	0,277	322,5	
EVD=	81,23	Mpa	
S/V=	0,858	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,05	mm/d	

Tabela 74: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 423)

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 1 do 1º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	22	Camada:	2
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,708	106,2	
2	0,697	122,4	
3	0,714	127,01	
MW	0,706	118,5	
EVD=	31,87	Mpa	
S/V=	5,957	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 2 do 1º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	23	Camada:	2
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,659	142,62	
2	0,668	154,94	
3	0,63	162,25	
MW	0,652	153,3	
EVD=	34,51	Mpa	
S/V=	4,253	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 1 do 2º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	24	Camada:	2
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,795	12,17	
2	0,886	1,5	
3	0,949	1,12	
MW	0,877	4,9	
EVD=	25,66	Mpa	
S/V=	47,907	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,2	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 2 do 2º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	25	Camada:	2
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,965	13,73	
2	0,952	24,75	
3	0,97	33,16	
MW	0,962	23,9	
EVD=	23,39	Mpa	
S/V=	40,251	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,2	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 1 do 3º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	26	Camada:	2
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,727	57,59	
2	0,738	68,33	
3	0,746	77,44	
MW	0,737	67,8	
EVD=	30,53	Mpa	
S/V=	10,87	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD			
Material:	Subleito		
Leitura 2 do 3º ponto			
KM	423+050		
Nº ensaio:	27	Camada:	2
Data:	13/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,773	80,6	
2	0,881	80,11	
3	0,858	89,97	
MW	0,837	83,6	
EVD=	26,88	Mpa	
S/V=	10,11	ms	
t=	5	ms/d.	
s=	0,2	mm/d	

Tabela 75: Resultados dos ensaios com LWD – BGS (km 428,965)

Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	BGS			Material:	BGS		
Leitura 1 do 1º ponto				Leitura 2 do 1º ponto			
KM	428+965			KM	428+965		
Nº ensaio:	8	Camada:	1	Nº ensaio:	9	Camada:	1
Data:	12/03/2014	Operador:	Diogo	Data:	12/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,337	224,06		1	0,425	225,21	
2	0,389	214,31		2	0,392	242,08	
3	0,381	225,61		3	0,46	218,37	
MW	0,369	221,3		MW	0,426	228,6	
EVD=	58,9	Mpa		EVD=	52,82	Mpa	
S/V=	1,726	ms		S/V=	1,863	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d	

Tabela 76: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 428,965)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	Subleito			Material:	Subleito			Material:	Subleito		
Leitura 1 do 1º ponto				Leitura 2 do 1º ponto				Leitura 1 do 2º ponto			
KM	428+965			KM	428+965			KM	428+965		
Nº ensaio:	10	Camada:	2	Nº ensaio:	11	Camada:	2	Nº ensaio:	12	Camada:	2
Data:	12/03/2014	Operador:	Diogo	Data:	12/03/2014	Operador:	Diogo	Data:	12/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,25	283,38		1	0,236	272,14		1	0,334	262,48	
2	0,245	279,88		2	0,23	262,21		2	0,325	268,49	
3	0,249	281,02		3	0,232	261,32		3	0,331	254,78	
MW	0,248	281,4		MW	0,233	265,2		MW	0,33	261,9	
EVD=	90,73	Mpa		EVD=	96,57	Mpa		EVD=	68,18	Mpa	
S/V=	0,881	ms		S/V=	0,878	ms		S/V=	1,26	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,05	mm/d		s=	0,05	mm/d		s=	0,1	mm/d	

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	Subleito			Material:	Subleito			Material:	Subleito		
Leitura 2 do 2º ponto				Leitura 1 do 3º ponto				Leitura 2 do 3º ponto			
KM	428+965			KM	428+965			KM	428+965		
Nº ensaio:	13	Camada:	2	Nº ensaio:	14	Camada:	2	Nº ensaio:	15	Camada:	2
Data:	12/03/2014	Operador:	Diogo	Data:	12/03/2014	Operador:	Diogo	Data:	12/03/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,311	297,71		1	0,291	315,85		1	0,279	302,03	
2	0,306	304,71		2	0,289	310,9		2	0,282	308,89	
3	0,304	296,79		3	0,293	315,96		3	0,283	304,01	
MW	0,307	299,7		MW	0,291	314,2		MW	0,281	305	
EVD=	73,29	Mpa		EVD=	77,32	Mpa		EVD=	80,07	Mpa	
S/V=	1,24	ms		S/V=	0,926	ms		S/V=	0,921	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,05	mm/d		s=	0,05	mm/d	

Tabela 77: Resultados dos ensaios com LWD – BGS (km 431)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	BGS	Camada de base		Material:	BGS	Camada de base		Material:	BGS	Camada de base	
Leitura 1 do 1º ponto				Leitura 1 do 2º ponto				Leitura 1 do 3º ponto			
KM	431+000			KM	431+000			KM	431+000		
Nº ensaio:	31	Camada:	1	Nº ensaio:	32	Camada:	1	Nº ensaio:	33	Camada:	1
Data:	16/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	16/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	16/06/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		N	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,731	82		1	0,756	102,4		1	0,614	93	
2	0,677	108,9		2	0,746	103,4		2	0,642	93,2	
3	0,641	125,7		3	0,708	128,7		3	0,61	108,3	
MW	0,683	105,5		MW	0,737	111,5		MW	0,622	98,2	
EVD=	32,94	Mpa		EVD=	30,53	Mpa		EVD=	36,2	Mpa	
S/V=	6,473	ms		S/V=	6,609	ms		S/V=	6,334	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d	

Tabela 78: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 431)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	Solo	Camada de subleito		Material:	Solo	Camada de subleito		Material:	Solo	Camada de subleito	
Leitura 1 do 1º ponto				Leitura 1 do 2º ponto				Leitura 1 do 3º ponto			
KM	431+000			KM	431+000			KM	431+000		
Nº ensaio:	34	Camada:	1	Nº ensaio:	35	Camada:	1	Nº ensaio:	36	Camada:	1
Data:	16/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	16/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	16/06/2014	Operador:	Diogo
N	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		N	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,347	245,99		1	0,345	283,4		1	0,303	318,4	
2	0,342	2248,8		2	0,34	287,8		2	0,296	325,7	
3	0,337	256,1		3	0,326	300		3	0,296	323,6	
MW	0,342	250,3		MW	0,337	290,1		MW	0,298	322,6	
EVD=	65,6	Mpa		EVD=	66,7	Mpa		EVD=	75,5	Mpa	
S/V=	1,342	ms		S/V=	1,161	Ms		S/V=	0,923	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d	

Tabela 79: Resultados dos ensaios com LWD – BGS (km 434)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	BGS	Camada de sub-base		Material:	BGS	Camada de sub-base		Material:	BGS	Camada de sub-base	
Leitura 1 do 1º ponto				Leitura 1 do 2º ponto				Leitura 1 do 3º ponto			
KM	434+000			KM	434+000			KM	434+000		
Nº ensaio:	37	Camada:	1	Nº ensaio:	38	Camada:	1	Nº ensaio:	39	Camada:	2
Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		N	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,432	228,3		1	1,164	171,1		1	0,981	193,5	
2	0,397	244		2	1,104	169,5		2	0,872	220,1	
3	0,422	240		3	1,031	166,3		3	0,941	222,6	
MW	0,417	237,4		MW	0,535	292		MW	0,931	212,1	
EVD=	53,96	Mpa		EVD=	20,45	Mpa		EVD=	24,17	Mpa	
S/V=	1,756	ms		S/V=	6,508	ms		S/V=	4,389	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,2	mm/d		s=	0,2	mm/d	

Tabela 80: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 434)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	Solo	Camada de subleito		Material:	Solo	Camada de subleito		Material:	Subleito	Camada de subleito	
Leitura 1 do 1º ponto				Leitura 1 do 2º ponto				Leitura 1 do 3º ponto			
KM	434+000			KM	434+000			KM	434+000		
Nº ensaio:	40	Camada:	2	Nº ensaio:	41	Camada:	1	Nº ensaio:	42	Camada:	1
Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo
N	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		N	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,462	161,8		1	0,381	166,5		1	0,499	180,17	
2	0,429	193,44		2	0,397	174		2	0,387	216,15	
3	0,417	199,5		3	0,385	181,9		3	0,387	220,4	
MW	0,436	185,1		MW	0,388	174,1		MW	0,424	205,6	
EVD=	51,61	Mpa		EVD=	58	Mpa		EVD=	53	Mpa	
S/V=	2,355	ms		S/V=	2,228	Ms		S/V=	2,62	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d	

Tabela 81: Resultados dos ensaios com LWD – BGS (km 456)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	BGS	Camada de sub-base		Material:	BGS	Camada de sub-base		Material:	BGS	Camada de sub-base	
Leitura 1 do 1º ponto				Leitura 1 do 2º ponto				Leitura 1 do 3º ponto			
KM	456+000			KM	456+000			KM	456+000		
Nº ensaio:	47	Camada:	1	Nº ensaio:	48	Camada:	1	Nº ensaio:	49	Camada:	2
Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		N	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,656	257,93		1	0,491	288,8		1	0,302	318,27	
2	0,744	255,58		2	0,621	276,35		2	0,292	326,45	
3	0,831	258,05		3	0,492	310,99		3	0,378	311,58	
MW	0,744	257,2		MW	0,535	292		MW	0,324	318,8	
EVD=	30,24	Mpa		EVD=	42,06	Mpa		EVD=	69,44	Mpa	
S/V=	2,892	ms		S/V=	1,832	ms		S/V=	1,16	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d	

Tabela 82: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 456)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	Solo	Camada de subleito		Material:	Solo	Camada de subleito		Material:	Subleito	Camada de subleito	
Leitura 1 do 1º ponto				Leitura 1 do 2º ponto				Leitura 1 do 3º ponto			
KM	456+000			KM	456+000			KM	456+000		
Nº ensaio:	50	Camada:	2	Nº ensaio:	51	Camada:	1	Nº ensaio:	52	Camada:	1
Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	24/06/2014	Operador:	Diogo
N	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		N	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,218	266,64		1	0,191	236,18		1	0,312	296,25	
2	0,211	270,96		2	0,184	232,44		2	0,236	325,68	
3	0,209	267,09		3	0,175	218,55		3	0,199	288,82	
MW	0,213	268,2		MW	0,183	229,1		MW	0,249	303,6	
EVD=	105,63	Mpa		EVD=	122,95	Mpa		EVD=	90,36	Mpa	
S/V=	0,794	ms		S/V=	0,798	Ms		S/V=	0,82	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,05	mm/d		s=	0,05	mm/d	

Tabela 83: Resultados dos ensaios com LWD – BGS (km 460)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	BGS			Material:	BGS			Material:	BGS		
1º ponto				2º ponto				3º ponto			
KM	460			KM	460			KM	460		
Nº ensaio:	1	Camada:	3	Nº ensaio:	2	Camada:	3	Nº ensaio:	3	Camada:	3
Data:	22/07/2014	Operador:	Diogo	Data:	22/07/2014	Operador:	Diogo	Data:	22/07/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,35	289,6		1	0,27	322,4		1	0,32	293,6	
2	0,31	314		2	0,27	324,1		2	0,32	295,7	
3	0,3	312,3		3	0,27	322,5		3	0,35	286,6	
MW	0,31	305		MW	0,27	323,4		MW	0,33	292	
EVD=	72,53	Mpa		EVD=	83,23	Mpa		EVD=	74,77	Mpa	
S/V=	1,45	ms		S/V=	0,85	ms		S/V=	1,13	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,05	mm/d		s=	0,1	mm/d	

Tabela 84: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 460)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	Subleito			Material:	Subleito			Material:	Subleito		
1º ponto				2º ponto				3º ponto			
KM	460			KM	460			KM	460		
Nº ensaio:	4	Camada:	3	Nº ensaio:	5	Camada:	3	Nº ensaio:	6	Camada:	3
Data:	22/07/2014	Operador:	Diogo	Data:	22/07/2014	Operador:	Diogo	Data:	22/07/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,7	106,2		1	0,63	57,5		1	0,65	142,6	
2	0,69	122,4		2	0,61	68,3		2	0,66	154,9	
3	0,72	127		3	0,6	77,4		3	0,63	162,2	
MW	0,7	118,5		MW	0,615	67,8		MW	0,65	153,3	
EVD=	35,8	Mpa		EVD=	40,53	Mpa		EVD=	37,5	Mpa	
S/V=	5,95	ms		S/V=	4,57	ms		S/V=	4,253	ms	
t=	0,05	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d	

Tabela 85: Resultados dos ensaios com LWD – BGS (km 477)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	BGS			Material:	BGS			Material:	BGS		
1º ponto				2º ponto				3º ponto			
KM	477			KM	477			KM	477		
Nº ensaio:		Camada:	2	Nº ensaio:		Camada:	2	Nº ensaio:		Camada:	2
Data:	15/07/2014	Operador:	Diogo	Data:	15/07/2014	Operador:	Diogo	Data:	15/07/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,383	218,48		1	0,366	255,73		1	0,299	316,75	
2	0,381	237,77		2	0,358	259,05		2	0,286	323,91	
3	0,34	262,34		3	0,394	242,56		3	0,296	319,11	
MW	0,365	239,5		MW	0,373	252,4		MW	0,294	319,9	
EVD=	61,14	Mpa		EVD=	60,32	Mpa		EVD=	76,53	Mpa	
S/V=	1,536	ms		S/V=	1,477	ms		S/V=	0,919	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d		s=	0,05	mm/d	

Tabela 86: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 482)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	Subleito			Material:	Subleito			Material:	Subleito		
1º ponto				2º ponto				3º ponto			
KM	482			KM	482			KM	482		
Nº ensaio:	10	Camada:	3	Nº ensaio:	11	Camada:	3	Nº ensaio:	12	Camada:	3
Data:	20/07/2014	Operador:	Diogo	Data:	20/07/2014	Operador:	Diogo	Data:	20/07/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,553	146,7		1	0,471	167,9		1	0,517	129,5	
2	0,549	161,4		2	0,454	179,7		2	0,524	139,4	
3	0,562	166,5		3	0,412	204,1		3	0,492	151,7	
MW	0,555	158,2		MW	0,446	183,9		MW	0,511	140,2	
EVD=	40,5	MPa		EVD=	50,5	MPa		EVD=	44	MPa	
S/V=	3,508	ms		S/V=	2,425	ms		S/V=	3,644	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d		s=	0,1	mm/d	

Tabela 87: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 492)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	Subleito			Material:	Subleito			Material:	Subleito		
1º ponto				2º ponto				3º ponto			
KM	492			KM	492			KM	492		
Nº ensaio:	10	Camada:	3	Nº ensaio:	11	Camada:	3	Nº ensaio:	12	Camada:	3
Data:	17/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	17/06/2014	Operador:	Diogo	Data:	17/06/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,132	178,4		1	0,14	182,94		1	0,145	198,44	
2	0,135	185,7		2	0,14	184,3		2	0,151	217,13	
3	0,133	183,6		3	0,137	183,1		3	0,143	199,17	
MW	0,133	182,6		MW	0,139	183,4		MW	0,146	204,9	
EVD=	169,2	Mpa		EVD=	161,9	Mpa		EVD=	154,11	Mpa	
S/V=	0,728	ms		S/V=	0,757	ms		S/V=	0,712	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,05	mm/d		s=	0,05	mm/d		s=	0,05	mm/d	

Tabela 88: Resultados dos ensaios com LWD – Subleito (km 521)

Ensaio LWD				Ensaio LWD				Ensaio LWD			
Material:	Subleito			Material:	Subleito			Material:	Subleito		
1º ponto				2º ponto				3º ponto			
KM	521			KM	521			KM	521		
Nº ensaio:		Camada:	3	Nº ensaio:		Camada:	3	Nº ensaio:		Camada:	3
Data:	16/07/2014	Operador:	Diogo	Data:	16/07/2014	Operador:	Diogo	Data:	16/07/2014	Operador:	Diogo
n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)		n	Sn(mm)	Vn(mm)	
1	0,56	186,17		1	0,867	126,57		1	0,517	175,57	
2	0,608	196,14		2	0,996	128,66		2	0,508	197,04	
3	0,681	186,9		3	0,834	158,39		3	0,53	199,65	
MW	0,616	189,7		MW	0,899	137,9		MW	0,518	190,8	
EVD=	36,53	Mpa		EVD=	25,03	Mpa		EVD=	43,44	Mpa	
S/V=	3,247	ms		S/V=	6,519	ms		S/V=	2,714	ms	
t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.		t=	5	ms/d.	
s=	0,1	mm/d		s=	0,2	mm/d		s=	0,1	mm/d	

GRANULOMETRIA

Tabela 89: Caracterização e classificação de solos (sub-base, km 414, Pista Sul)

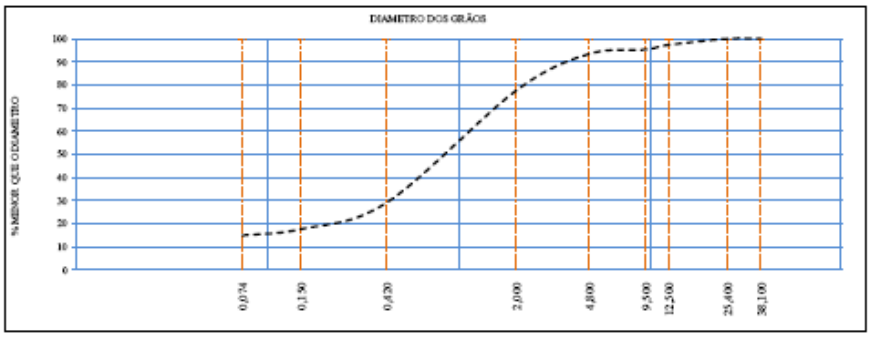
CARACTERIZAÇÃO e CLASSIFICAÇÃO de SOLOS

Latina Manutenção
arteris

Concessionária: Regis BR-116		CERTIFICADO	237/2013
Construtora: -		DATA DA AMOSTRAGEM	13/06/2013
PROCEDÊNCIA: PISTA		DATA INÍCIO ENSAIO	24/06/2013
km 414+000	RESPONSÁVEL PELA COLETA FERNANDO SARTORE		
PISTA SUL	-		
MATERIAL CASCALHO	-		
ESTUDO: FURO 1			

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (DNIT ME-051/94)

PENEIRA ASTM	mm	% < ø
11/2"	38	100
1"	25	100
3/4"	19	100
1/2"	12,5	97
3/8"	9,5	95
Nº4	4,8	93
Nº10 (γ)	2,0	78
Nº40	0,42	29
Nº100	0,15	18
Nº200	0,074	15



LIMITES FÍSICOS (DNIT ME-122/94) e (DNIT ME-082/94)

LIMITE DE LIQUIDEZ	LIMITE DE PLÁSTICIDADE	ÍNDICE DE PLÁSTICIDADE
-	-	NP

MATERIAIS CONSTITUINTES

Material

PEDREGULHO GROSSO >25,4mm	PEDREGULHO FINO 4,8a 25,4mm	TOTAL DE PEDREGULHO > 4,8	AREIA GROSSA 2,0 a 4,8mm	AREIA MÉDIA 0,42 a 2,0mm	AREIA FINA 0,075 a 0,42	TOTAL AREIA 0,42 a 4,8
0,0%	6,6%	6,6%	15,8%	48,5%	14,2%	78,5%

SILTE + ARGILA < 0,075	TOTAL GERAL
14,9%	100,0%

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (OHL ET-145/91)

CLASSE DO SOLO	ÍNDICE DE GRUPO	CBR (%)	EXPANSÃO (%)	ENERGIA DE COMPACTAÇÃO	DENSIDADE MÁXIMA SÊCA	UMIDADE ÓTIMA	GRAU DE COMPACTAÇÃO NA PISTA (%)	DESVIO DE UMIDADE (%)
A1-b	0	58	0,0	MODIFICADA	2,214	6,2		

NOTAS:

A memória de cálculo está arquivada no CDT e está disponível para consulta sempre que for necessário.

Vargem, quarta-feira, 26 de junho de 2013
Hugo Florêncio
Coordenador de Laboratório de Engenharia
CDT Centro de Desenvolvimento Tecnológico

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Granulometria - DNER ME 7181/84

Latina Manutenção arteris

Solicitante: Pesquisa solos **Data: 22/11/13**
IDENTIFICAÇÃO: Subleito km 06 Sul - BR 381 **Operador: Diego**

Determinação da Umidade		Peneiramento Grosso				
Cápsula Nº	48	Peneira		Massa Seca (g)		% Passante
Amostra+tara+água (g)	113,37	pol	mm	Retida	Passante	
Amostra+tara (g)	100,5	2"	50,80	0,00	1207,92	100,0
Água (g)	12,87	1 1/2"	38,00	0,00	1207,92	100,0
Tara (g)	23,69	1"	25,40	0,00	1207,92	100,0
Amostra Seca (g)	76,81	3/4"	19,10	0,00	1207,92	100,0
Umidade (%)	16,8	1/2"	12,70	0,00	1207,92	100,0
		3/8"	9,52	0,00	1207,92	100,0
Peneiramento Grosso		4	4,76	0,00	1207,92	100,0
Amostra Total Úmida (g)	1410,32	10	2,00	8,68	1199,24	99,3
Solo Seco Retido (g)	1207,92	Peneiramento Fino				
Solo Úmido Passado # 10 (g)	202,40	40	0,42	11,46	9,62	89,7
Solo Seco Passado # 10 (g)	173,35					
Amostra Total Seca (g)	1207,92	100	0,149	19,27	16,18	83,2
Peneiramento Fino						
Massa Am. Úmida (g)	119,69	200	0,075	24,62	20,67	78,8
Massa Am. Seca (g)	119,13					

Figura 171: Resultados – Ensaio granulometria (material de jazida BR 381)

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Granulometria - DNER ME 7181/84

Latina Manutenção arteris

Solicitante: Pesquisa solos **DATA: 04/07/2014**
IDENTIFICAÇÃO: Subleito km 402 Norte **OPERADOR:** Diego

Determinação da Umidade		Peneiramento Grosso				
Cápsula Nº	32	Peneira		Massa Seca (g)		% Passante
Amostra+tara+água (g)	141,38	pol	mm	Retida	Passante	
Amostra+tara (g)	138,83	2"	50,80	0,00	1330,02	100,0
Água (g)	2,55	1 1/2"	38,00	0,00	1330,02	100,0
Tara (g)	29,69	1"	25,40	75,18	1254,84	94,3
Amostra Seca (g)	109,14	3/4"	19,10	197,25	1132,77	85,2
Umidade (%)	2,3	1/2"	12,70	296,53	1033,49	77,7
		3/8"	9,52	366,28	963,74	72,5
Peneiramento Grosso		4	4,76	548,19	781,83	58,8
Amostra Total Úmida (g)	1361,10	10	2,00	744,46	585,56	44,0
Solo Seco Retido (g)	1330,02	Peneiramento Fino				
Solo Úmido Passado # 10 (g)	31,08	40	0,42	68,45	57,46	18,7
Solo Seco Passado # 10 (g)	30,37					
Amostra Total Seca (g)	1330,02	100	0,149	90,70	76,14	10,5
Peneiramento Fino						
Massa Am. Úmida (g)	116,21	200	0,075	96,87	81,31	8,2
Massa Am. Seca (g)	119,13					

Figura 172: Resultado do ensaio de granulometria (subleito, km 402, pista norte)

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Granulometria - DNER ME 7181/84

Latina Manutenção arteris

Solicitante: Pesquisa solos **DATA:** **06/08/2014**
IDENTIFICAÇÃO: **Subleito KM 405 Norte** **OPERADOR:** Diego

Determinação da Umidade			Peneiramento Grosso				
Cápsula Nº	57		Peneira		Massa Seca (g)		% Passante
Amostra+tara+água (g)	150,03		pol	mm	Retida	Passante	
Amostra+tara (g)	148,58		2"	50,80	0,00	1490,81	100,0
Água (g)	1,45		1 1/2"	38,00	0,00	1490,81	100,0
Tara (g)	37,22		1"	25,40	194,21	1296,60	87,0
Amostra Seca (g)	111,36		3/4"	19,10	271,34	1219,47	81,8
Umidade (%)	1,3		1/2"	12,70	345,38	1145,43	76,8
			3/8"	9,52	421,53	1069,28	71,7
Peneiramento Grosso			4	4,76	597,06	893,75	60,0
Amostra Total Úmida (g)		1510,22	10	2,00	797,45	693,36	46,5
Solo Seco Retido (g)		1490,81	Peneiramento Fino				
Solo Úmido Passado # 10 (g)		19,41	40	0,42	58,44	51,22	22,7
Solo Seco Passado # 10 (g)		19,16					
Amostra Total Seca (g)		1490,81	100	0,149	77,80	68,19	14,8
Peneiramento Fino							
Massa Am. Úmida (g)		115,60	200	0,075	85,75	75,16	11,6
Massa Am. Seca (g)		114,09					

Figura 173: Resultado do ensaio de granulometria (subleito, km 405, pista norte)

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Granulometria - DNER ME 7181/84

Latina Manutenção arteris

Solicitante: Pesquisa solos **DATA:** **02/09/2014**
IDENTIFICAÇÃO: **Subleito KM 431 Norte** **OPERADOR:** Diego

Determinação da Umidade			Peneiramento Grosso				
Cápsula Nº	79		Peneira		Massa Seca (g)		% Passante
Amostra+tara+água (g)	119,09		pol	mm	Retida	Passante	
Amostra+tara (g)	118,66		2"	50,80	0,00	1473,23	100,0
Água (g)	0,43		1 1/2"	38,00	0,00	1473,23	100,0
Tara (g)	25,13		1"	25,40	0,00	1473,23	100,0
Amostra Seca (g)	93,53		3/4"	19,10	0,00	1473,23	100,0
Umidade (%)	0,5		1/2"	12,70	51,33	1421,90	96,5
			3/8"	9,52	93,49	1379,74	93,7
Peneiramento Grosso			4	4,76	238,82	1234,41	83,8
Amostra Total Úmida (g)		1480,00	10	2,00	440,65	1032,58	70,1
Solo Seco Retido (g)		1473,23	Peneiramento Fino				
Solo Úmido Passado # 10 (g)		6,77	40	0,42	69,36	60,23	27,9
Solo Seco Passado # 10 (g)		6,74					
Amostra Total Seca (g)		1473,23	100	0,149	81,67	70,92	20,4
Peneiramento Fino							
Massa Am. Úmida (g)		115,69	200	0,075	88,56	76,90	16,2
Massa Am. Seca (g)		115,16					

Figura 174: Resultado do ensaio de granulometria (subleito, km 431, pista norte).

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Granulometria - DNER ME 7181/84

Solicitante: Pesquisa solos **DATA: 08/10/2014**
IDENTIFICAÇÃO: Subleito KM 434+000 Norte **OPERADOR:** Diego

Determinação da Umidade		Peneiramento Grosso				
Cápsula Nº	2	Peneira		Massa Seca (g)		% Passante
Amostra+tara+água (g)	129,55	pol	mm	Retida	Passante	
Amostra+tara (g)	129,4	2"	50,80	0,00	1148,81	100,0
Água (g)	24,00	1 1/2"	38,00	0,00	1148,81	100,0
Tara (g)	25,82	1"	25,40	0,00	1148,81	100,0
Amostra Seca (g)	103,58	3/4"	19,10	47,95	1100,86	95,8
Umidade (%)	23,2	1/2"	12,70	76,44	1072,37	93,3
		3/8"	9,52	102,46	1046,35	91,1
Peneiramento Grosso		4	4,76	162,47	986,34	85,9
Amostra Total Úmida (g)	1415,00	10	2,00	319,81	829,00	72,2
Solo Seco Retido (g)	1148,81	Peneiramento Fino				
Solo Úmido Passado # 10 (g)	266,19	40	0,42	53,78	67,63	23,4
Solo Seco Passado # 10 (g)	216,11					
Amostra Total Seca (g)	1148,81	100	0,149	68,78	86,50	9,7
Peneiramento Fino						
Massa Am. Úmida (g)	103,50	200	0,075	77,52	97,49	2
Massa Am. Seca (g)	79,52					

Figura 175: Resultado do ensaio de granulometria (subleito, km 434, pista norte)

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Granulometria - DNER ME 7181/84

Solicitante: Pesquisa solos **DATA: 08/10/2014**
IDENTIFICAÇÃO: Subleito KM 456+000 Norte **OPERADOR:** Diego

Determinação da Umidade		Peneiramento Grosso				
Cápsula Nº	3	Peneira		Massa Seca (g)		% Passante
Amostra+tara+água (g)	130,68	pol	mm	Retida	Passante	
Amostra+tara (g)	130,29	2"	50,80	0,00	1389,81	100,0
Água (g)	0,39	1 1/2"	38,00	0,00	1389,81	100,0
Tara (g)	25,82	1"	25,40	0,00	1389,81	100,0
Amostra Seca (g)	104,47	3/4"	19,10	10,26	1379,55	99,3
Umidade (%)	0,4	1/2"	12,70	47,19	1342,62	96,6
		3/8"	9,52	75,21	1314,60	94,6
Peneiramento Grosso		4	4,76	174,71	1215,10	87,4
Amostra Total Úmida (g)	1395,00	10	2,00	297,90	1091,91	78,6
Solo Seco Retido (g)	1389,81	Peneiramento Fino				
Solo Úmido Passado # 10 (g)	5,19	40	0,42	32,34	30,18	54,9
Solo Seco Passado # 10 (g)	5,17					
Amostra Total Seca (g)	1389,81	100	0,149	54,28	50,65	38,8
Peneiramento Fino						
Massa Am. Úmida (g)	107,57	200	0,075	65,25	60,89	31
Massa Am. Seca (g)	107,17					

Figura 176: Resultado do ensaio de granulometria (subleito, km 456, pista norte)

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Granulometria - DNER ME 7181/84

Solicitante: Pesquisa solos **DATA: 08/10/2014**
IDENTIFICAÇÃO: Subleito KM 460+000 Norte **OPERADOR:** Diego

Determinação da Umidade	
Cápsula Nº	4
Amostra+tara+água (g)	105,56
Amostra+tara (g)	102,2
Água (g)	3,36
Tara (g)	23,59
Amostra Seca (g)	78,61
Umidade (%)	4,3
Peneiramento Grosso	
Amostra Total Úmida (g)	1450,00
Solo Seco Retido (g)	1390,56
Solo Úmido Passado # 10 (g)	59,44
Solo Seco Passado # 10 (g)	57,00
Amostra Total Seca (g)	1390,56
Peneiramento Fino	
Massa Am. Úmida (g)	116,16
Massa Am. Seca (g)	111,20

Peneiramento Grosso				
Peneira		Massa Seca (g)		% Passante
pol	mm	Retida	Passante	
2"	50,80	0,00	1390,56	100,0
1 1/2"	38,00	0,00	1390,56	100,0
1"	25,40	0,00	1390,56	100,0
3/4"	19,10	0,00	1390,56	100,0
1/2"	12,70	11,70	1378,86	99,2
3/8"	9,52	22,93	1367,63	98,4
4	4,76	44,14	1346,42	96,8
10	2,00	83,68	1306,88	94,0
Peneiramento Fino				
40	0,42	17,64	15,86	79,1
100	0,149	35,86	32,25	63,7
200	0,075	46,32	41,66	54,8

Figura 177: Resultado do ensaio de granulometria (subleito, km 460, pista norte)

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Granulometria - DNER ME 7181/84

Latina Manutenção arteris

Solicitante: Pesquisa solos **DATA:** **14/10/2014**
IDENTIFICAÇÃO: **Subleito KM 482 Sul** **OPERADOR:** Diego

Determinação da Umidade				Peneiramento Grosso				
Cápsula Nº	1			Peneira		Massa Seca (g)		% Passante
Amostra+tara+água (g)	126,54			pol	mm	Retida	Passante	
Amostra+tara (g)	126,34			2"	50,80	0,00	1437,10	100,0
Água (g)	0,20			1 1/2"	38,00	0,00	1437,10	100,0
Tara (g)	27,39			1"	25,40	0,00	1437,10	100,0
Amostra Seca (g)	98,95			3/4"	19,10	34,97	1402,13	97,6
Umidade (%)	0,2			1/2"	12,70	98,40	1338,70	93,2
				3/8"	9,52	138,73	1298,37	90,3
Peneiramento Grosso				4	4,76	230,06	1207,04	84,0
Amostra Total Úmida (g)		1440,00		10	2,00	405,16	1031,94	71,8
Solo Seco Retido (g)		1437,10		Peneiramento Fino				
Solo Úmido Passado # 10 (g)		2,90		40	0,42	59,15	51,73	34,7
Solo Seco Passado # 10 (g)		2,90						
Amostra Total Seca (g)		1437,10		100	0,149	81,32	71,12	20,7
Peneiramento Fino								
Massa Am. Úmida (g)		114,57		200	0,075	88,30	77,23	16,4
Massa Am. Seca (g)		114,34						

Figura 178: Resultado do ensaio de granulometria (subleito, km 482, pista sul)

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Granulometria - DNER ME 7181/84

Latina Manutenção arteris

Solicitante: Pesquisa solos **DATA:** **02/09/2014**
IDENTIFICAÇÃO: **Subleito KM 492 Pista Sul** **OPERADOR:** Diego

Determinação da Umidade				Peneiramento Grosso				
Cápsula Nº	2			Peneira		Massa Seca (g)		% Passante
Amostra+tara+água (g)	111,48			pol	mm	Retida	Passante	
Amostra+tara (g)	111,24			2"	50,80	0,00	1451,01	100,0
Água (g)	0,24			1 1/2"	38,00	0,00	1451,01	100,0
Tara (g)	24,00			1"	25,40	0,00	1451,01	100,0
Amostra Seca (g)	87,24			3/4"	19,10	20,20	1430,81	98,6
Umidade (%)	0,3			1/2"	12,70	76,73	1374,28	94,7
				3/8"	9,52	140,65	1310,36	90,3
Peneiramento Grosso				4	4,76	280,97	1170,04	80,6
Amostra Total Úmida (g)		1455,00		10	2,00	475,02	975,99	67,3
Solo Seco Retido (g)		1451,01		Peneiramento Fino				
Solo Úmido Passado # 10 (g)		3,99		40	0,42	78,59	68,76	21,0
Solo Seco Passado # 10 (g)		3,98						
Amostra Total Seca (g)		1451,01		100	0,149	94,89	83,02	11,4
Peneiramento Fino								
Massa Am. Úmida (g)		114,61		200	0,075	99,28	86,86	8,8
Massa Am. Seca (g)		114,29						

Figura 179: Resultado do ensaio de granulometria (subleito, km 492, pista sul)

LIMITES DE ATTERBERG E CLASSIFICAÇÃO HRB

Tabela 90: Limites de Atterberg e classificação HRB (material de jazida BR 381)

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Latina Manutenção arteris

Limites de Atterberg

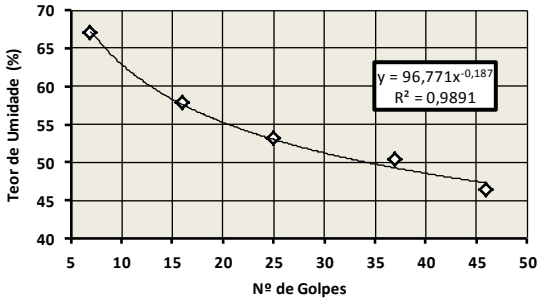
Solicitante: Pesquisa solos **DATA: 22/11/2013**

IDENTIFICAÇÃO: Subleito km 06 Sul - BR 381 **OPERADOR:** Diego

Limite de Liquidez - DNER ME 122/94

Golpe	Nº	46	37	25	16	7
Capsula	Nº	41	46	36	53	42
Am. Umida + Tara	g	16,304	15,877	14,566	14,433	15,372
Am. Seca + Tara	g	14,443	14,116	13,187	12,901	13,144
Tara	g	10,426	10,613	10,592	10,247	9,817
Umidade	%	46,3	50,3	53,1	57,7	67,0

LL	%	y = 96,771x^-0,187	53,0



Capsula	Nº	47	31	58	33	56	LP
Am. Umida + Tara	g	10,839	11,505	11,579	10,875	11,023	37,4
Am. Seca + Tara	g	10,723	11,357	11,422	10,727	10,863	
Tara	g	10,422	10,931	11,018	10,338	10,430	
Umidade	%	38,5	34,7	38,9	38,0	37,0	

IP	%	15,6

Classificação HRB	A - 7 - 5

IG	12,8

Tabela 91: Limites de Atterberg e classificação HRB – km 405, subleito

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP

Latina Manutenção arteris

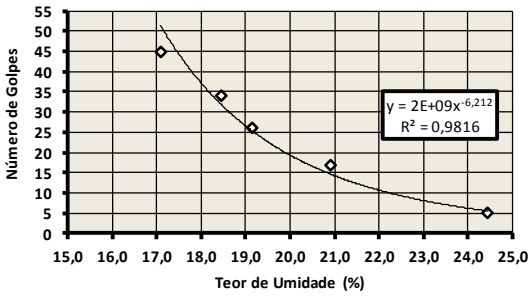
Limites de Atterberg

Solicitante: Pesquisa solos **DATA: 06/08/2014**
IDENTIFICAÇÃO: Subleito KM 405 Norte **OPERADOR:** Diego

Limite de Liquidez - DNER ME 122/94

Golpe	Nº	45	34	26	17	5
Capsula	Nº	31	36	41	42	47
Am. Umida + Tara	g	20,250	17,650	17,150	16,470	18,260
Am. Seca + Tara	g	18,890	16,550	16,070	15,320	16,720
Tara	g	10,931	10,592	10,426	9,817	10,422
Umidade	%	17,1	18,5	19,1	20,9	24,5

LL	%	y = 96,771x^-0,187	20,1



Capsula	Nº	33	46	53	56	58	LP
Am. Umida + Tara	g	11,610	12,100	10,970	11,380	11,700	
Am. Seca + Tara	g	11,440	11,890	10,880	11,240	11,610	15,7
Tara	g	10,338	10,613	10,247	10,430	11,018	
Umidade	%	15,4	16,4	14,2	17,3	15,2	

IP	%	4,4
IG		0,0

Classificação HRB	A - 1 - a

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Latina Manutenção arteris

Limites de Atterberg

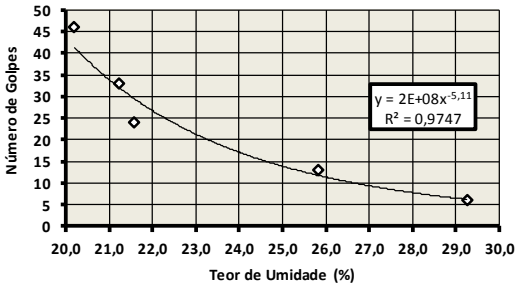
Solicitante: Pesquisa solos **DATA:** **02/09/2014**

IDENTIFICAÇÃO: **Subleito KM 431+000 NORTE** **OPERADOR:** Diego

Limite de Liquidez - DNER ME 122/94

Golpe	Nº	46	33	24	13	6
Capsula	Nº	29	30	34	38	39
Am. Umida + Tara	g	18,242	18,342	16,896	18,473	18,109
Am. Seca + Tara	g	17,006	17,047	15,663	16,988	16,474
Tara	g	10,886	10,947	9,948	11,238	10,886
Umidade	%	20,2	21,2	21,6	25,8	29,3

LL	%	y = 96,771x^-0,187	23,5



Capsula	Nº	43	48	55	52	57	LP
Am. Umida + Tara	g	11,817	11,074	11,465	11,326	12,396	15,3
Am. Seca + Tara	g	11,690	10,941	11,364	11,221	12,226	
Tara	g	10,886	10,084	10,652	10,530	11,136	
Umidade	%	15,8	15,5	14,2	15,2	15,6	

IP	%	8,2

Classificação HRB	A - 2 - 4

IG CALCULADO	-4,1
IG	0,0

Figura 180: Limites de Atterberg e classificação HRB – km 431, subleito

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP

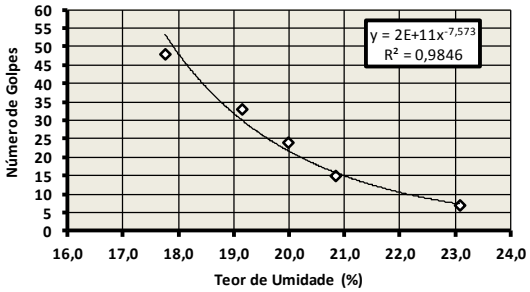
Limites de Atterberg

Solicitante: Pesquisa solos **DATA:** 08/10/2014
IDENTIFICAÇÃO: **Subleito KM 434+000 Norte** **OPERADOR:** Diego

Limite de Liquidez - DNER ME 122/94

Golpe	Nº	48	33	24	15	7
Capsula	Nº	27	28	29	30	31
Am. Umida + Tara	g	17,528	17,824	17,871	18,792	19,599
Am. Seca + Tara	g	16,411	16,616	16,707	17,439	17,973
Tara	g	10,122	10,308	10,886	10,947	10,931
Umidade	%	17,8	19,2	20,0	20,8	23,1

LL	%	y = 2*10^11*X^-7,57	20



Capsula	Nº	33	34	35	36	37	LP
Am. Umida + Tara	g	11,655	11,593	11,921	12,121	12,227	
Am. Seca + Tara	g	11,482	11,360	11,752	11,902	12,050	16
Tara	g	10,338	9,948	10,693	10,592	11,045	
Umidade	%	15,1	16,5	16,0	16,7	17,6	

IP	%	3,6

Classificação HRB	A - 2 - 4

IG CALCULADO	0,0	a	b	c	d
IG	0,0	0	0	0	0

Figura 181: Limites de Atterberg e classificação HRB – km 434, subleito.

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP

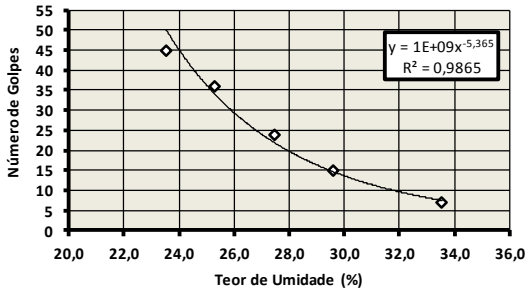
Limites de Atterberg

Solicitante: Pesquisa solos **DATA:** 08/10/2014
IDENTIFICAÇÃO: **Subleito KM 456+000 Norte** **OPERADOR:** Diego

Limite de Liquidez - DNER ME 122/94

Golpe	Nº	45	36	24	15	7
Capsula	Nº	38	39	40	41	42
Am. Umida + Tara	g	15,590	15,242	14,736	15,857	14,519
Am. Seca + Tara	g	14,761	14,362	13,880	14,617	13,338
Tara	g	11,238	10,886	10,766	10,426	9,817
Umidade	%	23,5	25,3	27,5	29,6	33,5

LL	%	y = 5*10^8x^-5,101	27



Capsula	Nº	43	45	46	47	48	LP
Am. Umida + Tara	g	11,936	10,762	11,827	11,526	11,000	18
Am. Seca + Tara	g	11,775	10,616	11,646	11,357	10,865	
Tara	g	10,886	9,813	10,613	10,422	10,084	
Umidade	%	18,1	18,2	17,5	18,1	17,3	

IP	%	9,0

Classificação HRB	A - 2 - 4

IG CALCULADO	0,0	a	b	c	d
IG	0,0	0	16	0	0

Figura 182: Limites de Atterberg e classificação HRB – km 456, subleito.

Latina Manutenção
arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP

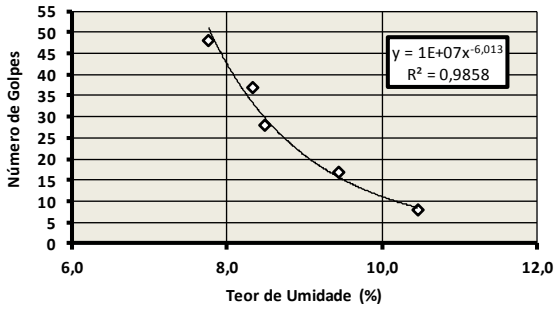
Limites de Atterberg

Solicitante: Pesquisa solos **DATA:** 08/10/2014
IDENTIFICAÇÃO: **Subleito KM 460+000 Norte** **OPERADOR:** Diego

Limite de Liquidez - DNER ME 122/94

Golpe	Nº	48	37	28	17	8
Capsula	Nº	49	50	51	52	53
Am. Umida + Tara	g	50,553	38,169	49,545	39,035	41,156
Am. Seca + Tara	g	49,556	37,068	48,508	37,795	39,590
Tara	g	36,710	23,850	36,280	24,660	24,620
Umidade	%	7,8	8,3	8,5	9,4	10,5

LL	%	y = 1*10^7x^-6,013	8,540



Capsula	Nº	55	56	57	58	59	LP
Am. Umida + Tara	g	36,833	36,207	49,188	48,684	34,927	3,4
Am. Seca + Tara	g	35,991	35,815	49,006	48,551	34,783	
Tara	g	24,890	24,530	37,210	37,010	24,130	
Umidade	%	7,6	3,5	1,5	1,2	1,4	

IP	%	5,1	Classificação HRB	A - 4

IG CALCULADO	4,0	a	b	c	d
IG	4,0	20	40	0	0

Figura 183: Limites de Atterberg e classificação HRB – km 460, subleito.

Tabela 92: Limites de Atterberg e classificação HRB – km 482, subleito.

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Latina Manutenção arteris

Limites de Atterberg

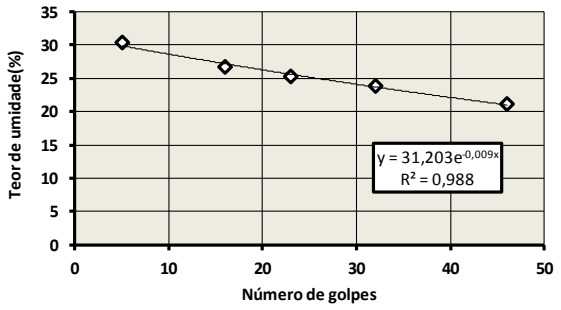
Solicitante: Pesquisa solos **DATA: 14/10/2014**

IDENTIFICAÇÃO: Subleito KM 482+000 SUL **OPERADOR:** Diego

Limite de Liquidez - DNER ME 122/94

Golpe	Nº	46	32	23	16	5
Capsula	Nº	7	18	34	38	49
Am. Umida + Tara	g	17,143	18,380	18,180	18,652	19,167
Am. Seca + Tara	g	15,914	17,039	16,515	17,091	16,964
Tara	g	10,099	11,417	9,948	11,238	9,724
Umidade	%	21,1	23,9	25,4	26,7	30,4

LL	%	y = 31,203e^-0,009x	24,9



Capsula	Nº	25	43	50	55	56	LP
Am. Umida + Tara	g	11,845	12,102	11,693	11,862	11,518	17,4
Am. Seca + Tara	g	11,646	11,927	11,516	11,679	11,358	
Tara	g	10,496	10,886	10,521	10,652	10,430	
Umidade	%	17,3	16,8	17,8	17,8	17,2	

IP	%	7,5

Classificação HRB	A - 2 - 4

IG CALCULADO	-4,4
IG	0,0

Tabela 93: Limites de Atterberg e classificação HRB – km 492, subleito.

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Latina Manutenção arteris

Limites de Atterberg

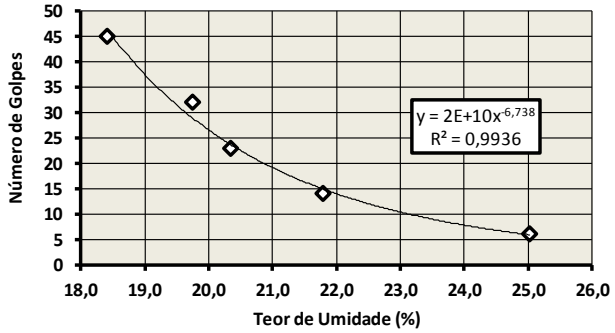
Solicitante: Pesquisa solos **DATA:** **02/09/2014**

IDENTIFICAÇÃO: **Subleito KM 492+000 Sul** **OPERADOR:** Diego

Limite de Liquidez - DNER ME 122/94

Golpe	Nº	45	32	23	14	6
Capsula	Nº	31	33	42	46	56
Am. Umida + Tara	g	17,575	17,818	18,424	18,959	17,502
Am. Seca + Tara	g	16,542	16,585	16,969	17,466	16,087
Tara	g	10,931	10,338	9,817	10,613	10,430
Umidade	%	18,4	19,7	20,3	21,8	25,0

LL	%	y = 96,771x^-0,187	0,0



Capsula	Nº	36	41	47	53	58	LP
Am. Umida + Tara	g	11,914	11,864	11,788	11,603	12,133	0,0
Am. Seca + Tara	g	11,725	11,655	11,590	11,406	11,977	
Tara	g	10,592	10,426	10,422	10,247	11,018	
Umidade	%	16,7	17,0	17,0	17,0	16,3	

IP	%	0,0

Classificação HRB	A - 1 - b

IG CALCULADO	0,6
IG	0,6

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Latina Manutenção
arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Fernão	**Operador:**	Diego
Identificação:	A-5	**Data:**	22/10/2013

Energia de Compactação	(x) - N	( ) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	12		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO					
Corpo de Prova n.	5	11	16	18	23
Massa Úmida + Molde (g)	7.701,2	7.742,4	8.041,5	8.129,7	7.968,3
Peso do molde (g)	4.209,0	4.101,0	4.159,0	4.264,0	4.118,0
Massa Úmida (g)	3.492,2	3.641,4	3.882,5	3.865,7	3.850,3
Volume molde (cm³)	2091	2088	2114	2122	2098
Meau (g/cm³)	1,670	1,744	1,837	1,822	1,835
Meas(g/cm³)	**1,365**	**1,405**	**1,452**	**1,415**	**1,405**
Obs					

TEOR DE UMIDADE										
Teor	12%		14%		16%		18%		20%	
Capsula nº	32	43	41	44	46	55	26	31	2	12
Amostra Úmida + Tara (g)	82,24	93,01	79,56	78,02	72,08	71,64	74,08	73,66	69,33	63,42
Amostra Seca + Tara (g)	72,55	82,45	70,02	68,29	62,01	60,90	63,08	62,91	58,88	54,11
Tara (g)	29,39	35,13	31,41	27,02	24,25	20,06	24,41	25,89	24,05	24,34
Teor de Umidade (%)	**22,45**	**22,32**	**24,71**	**23,58**	**26,67**	**26,30**	**28,45**	**29,04**	**30,00**	**31,27**
Média	**22,38**		**24,14**		**26,48**		**28,74**		**30,64**	

Densidade Seca Máxima	**1,45**	g/cm³	1,36	1,40	1,45	1,42	1,40
Umidade Ótima	**26,50**	%	22,38	24,14	26,48	28,74	30,64

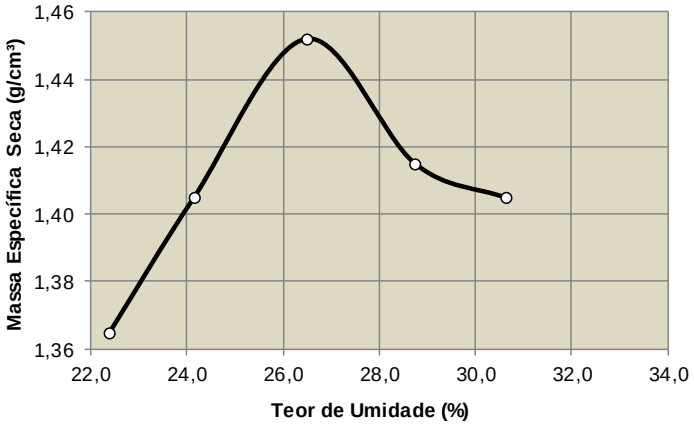


Figura 184: Resultados – Ensaio de compactação Proctor Normal (Jazida, BR 381)

Latina Manutenção
arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Fernão	**Operador:**	Diego
Identificação:	A-5	**Data:**	22/10/2013

Energia de Compactação	( ) - N	(x) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	26		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO					
Corpo de Prova n.	1	9	10	19	20
Massa Úmida + Molde (g)	7.544,9	7.686,9	8.261,0	8.391,4	8.134,4
Peso do molde (g)	4.166,0	4.107,0	4.224,0	4.371,0	4.238,0
Massa Úmida (g)	3.378,9	3.579,9	4.037,0	4.020,4	3.896,4
Volume molde (cm³)	2082	2096	2082	2088	2085
Meau (g/cm³)	1,623	1,708	1,939	1,925	1,869
Meas(g/cm³)	**1,366**	**1,412**	**1,553**	**1,516**	**1,449**
Obs					

TEOR DE UMIDADE										
Teor	10%		10%		12%		14%		16%	
Capsula n°	3	67	13	51	4	25	5	14	6	11
Amostra Úmida + Tara (g)	70,34	68,58	84,94	92,45	76,56	87,75	70,01	68,85	105,01	94,87
Amostra Seca + Tara (g)	63,32	60,99	74,55	82,64	66,01	77,51	60,10	60,11	86,67	78,29
Tara (g)	25,85	20,82	24,46	36,29	23,60	36,35	23,61	28,38	26,11	24,00
Teor de Umidade (%)	**18,73**	**18,89**	**20,74**	**21,17**	**24,88**	**24,88**	**27,16**	**27,54**	**30,28**	**30,54**
Média	**18,81**		**20,95**		**24,88**		**27,00**		**29,00**	

Densidade Seca Máxima	**1,56**	g/cm³
Umidade Ótima	**25,00**	%

1,37	1,41	1,55	1,52	1,45
18,81	20,95	24,88	27,00	29,00

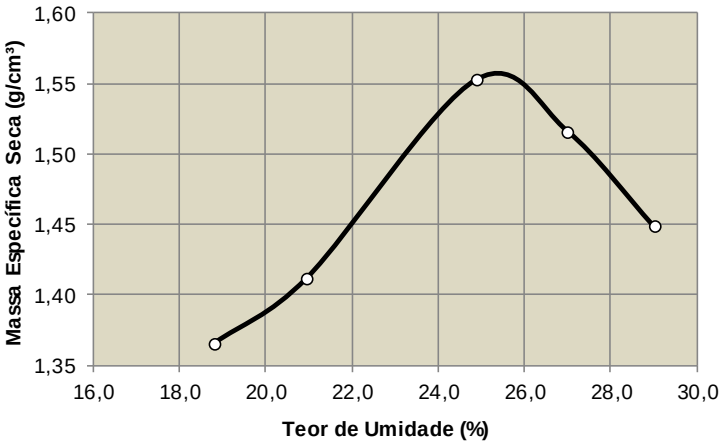


Figura 185: Resultados – Ensaio de compactação Proctor Intermediário (Jazida, BR 381).

Latina Manutenção
arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Fernão	**Operador:**	Diego
Identificação:	A-5	**Data:**	22/10/2013

Energia de Compactação	( ) - N	( ) - I	(x) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	56		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO					
Corpo de Prova n.	30	12	13	21	27
Massa Úmida + Molde (g)	7.535,2	7.785,2	8.284,8	8.266,3	8.566,8
Peso do molde (g)	4.256,0	4.233,0	4.156,0	4.154,0	4.489,0
Massa Úmida (g)	3.279,2	3.552,2	4.128,8	4.112,3	4.077,8
Volume molde (cm³)	2072	2116	2085	2090	2068
Meau (g/cm³)	1,583	1,679	1,980	1,968	1,972
Meas(g/cm³)	**1,388**	**1,440**	**1,651**	**1,595**	**1,565**
Obs					

TEOR DE UMIDADE										
Teor	6%		10%		12%		14%		16%	
Capsula nº	21	27	49	50	8	54	10	35	28	42
Amostra Úmida + Tara (g)	77,04	74,67	100,05	77,34	65,01	55,85	67,58	75,26	90,59	79,32
Amostra Seca + Tara (g)	70,62	68,86	90,92	69,85	60,29	50,66	59,21	67,76	79,36	67,72
Tara (g)	25,66	26,75	36,72	23,85	36,39	24,95	23,25	35,82	36,16	22,99
Teor de Umidade (%)	**14,28**	**13,80**	**16,85**	**16,28**	**19,75**	**20,19**	**23,28**	**23,48**	**26,00**	**25,93**
Média	**14,04**		**16,56**		**19,97**		**23,38**		**25,96**	

Densidade Seca Máxima	**1,66**	g/cm³
Umidade Ótima	**21,00**	%

1,4	1,4	1,7	1,6	1,6
14,04	16,56	19,97	23,38	25,96

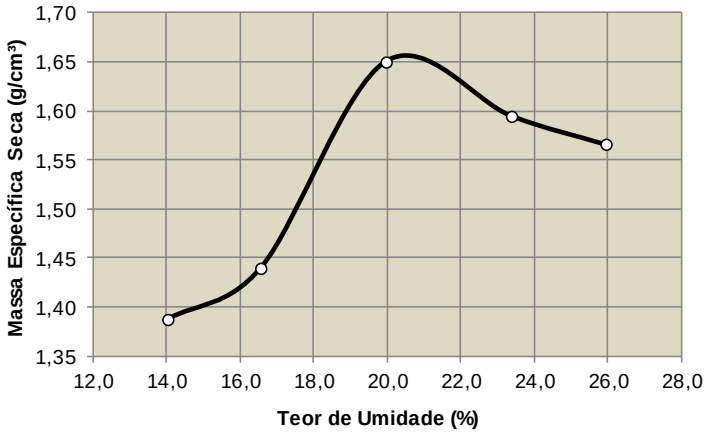


Figura 186: Resultados – Ensaio de compactação Proctor Modificado (Jazida, BR 381).

Latina Manutenção
arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Regis Bittencourt - janela km 402+000	**Operador:**	Ronaldo
Identificação:		**Data:**	28/06/2014

Energia de Compactação	( ) - N	(x) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	26		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO				
Corpo de Prova n.	1	2	3	5
Massa Úmida + Molde (g)	8.505,0	9.015,0	8.855,0	8.805,0
Peso do molde (g)	4.166,0	4.418,0	4.155,0	4.209,0
Massa Úmida (g)	4.339,0	4.597,0	4.700,0	4.596,0
Volume molde (cm³)	2082	2074	2130	2091
Meau (g/cm³)	2,084	2,216	2,207	2,198
Meas(g/cm³)	**2,028**	**2,112**	**2,063**	**1,943**
Obs				

TEOR DE UMIDADE								
Teor	3%		6%		9%		12%	
Capsula n°	106		109		110		114	
Amostra Úmida + Tara (g)	915,90		768,58		784,44		853,24	
Amostra Seca + Tara (g)	894,64		738,35		741,60		769,41	
Tara (g)	122,62		125,83		124,02		129,50	
Teor de Umidade (%)	**2,75**		**4,94**		**6,94**		**13,10**	
Média	**2,75**		**4,94**		**6,94**		**13,10**	

Densidade Seca Máxima	**2,11**	g/cm³	2,03	2,11	2,06	1,94	
Umidade Ótima	**4,95**	%	2,75	4,94	6,94	13,10	

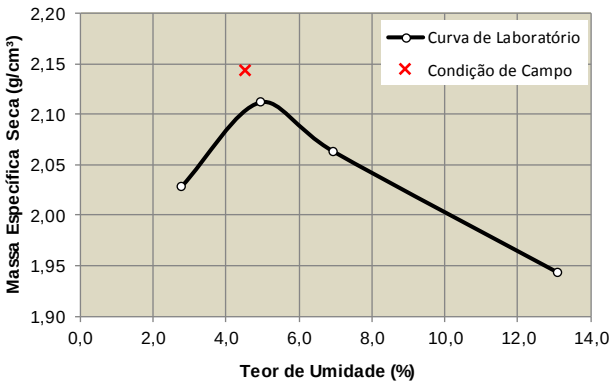


Figura 187: Resultado do ensaio de compactação (subleito, km 402, pista norte).

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	BGS Regis Bittencourt - janela km 405+000	**Operador:**	Diego
Identificação:	A-5	**Data:**	10/07/2014

Energia de Compactação	( ) - N	(X) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	26		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO					
Corpo de Prova n.	1	3	4	5	8
Massa Úmida + Molde (g)	8.545,0	8.765,0	8.915,0	9.075,0	8.940,0
Peso do molde (g)	4.166,0	4.155,0	4.105,0	4.209,0	4.171,0
Massa Úmida (g)	4.379,0	4.610,0	4.810,0	4.866,0	4.679,0
Volume molde (cm³)	2082	2130	2080	2091	2070
Meau (g/cm³)	2,103	2,164	2,313	2,327	2,260
Meas(g/cm³)	**2,042**	**2,061**	**2,161**	**2,135**	**2,036**
Obs					

TEOR DE UMIDADE										
Teor	2%		4%		6%		8%		10%	
Capsula nº	58	79	38	39	19	23	29	24	73	78
Amostra Úmida + Tara (g)	152,49	143,75	132,90	133,58	148,14	161,63	182,81	202,42	230,48	235,90
Amostra Seca + Tara (g)	149,18	140,59	126,97	127,59	140,19	152,72	171,86	190,67	209,74	212,48
Tara (g)	37,01	25,13	26,03	25,72	36,65	37,18	30,58	37,49	26,05	29,29
Teor de Umidade (%)	**2,95**	**2,74**	**5,87**	**5,88**	**7,68**	**7,71**	**7,75**	**7,67**	**11,29**	**12,78**
Média	**3,00**		**5,00**		**7,00**		**9,00**		**11,00**	

Densidade Seca Máxima	**2,16**	g/cm³	2,04	2,06	2,16	2,13	2,04
Umidade Ótima	**7,00**	%	3,00	5,00	7,00	9,00	11,00

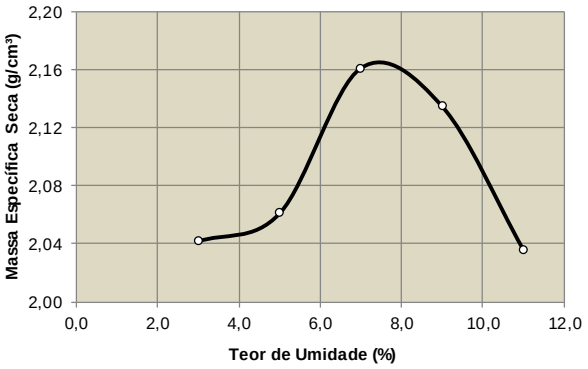


Figura 188: Resultado do ensaio de compactação (subleito, km 405, pista norte)

Latina Manutenção
arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Regis Bittencourt - janela km 418+009	**Operador:**	Diego
Identificação:	A-5	**Data:**	05/05/2014

Energia de Compactação	( ) - N	(x) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	26		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO				
Corpo de Prova n.	11	19	20	22
Massa Úmida + Molde (g)	8.160,0	8.780,0	8.900,0	8.710,0
Peso do molde (g)	4.101,0	4.371,0	4.238,0	4.152,0
Massa Úmida (g)	4.050,0	4.409,0	4.662,0	4.558,0
Volume molde (cm³)	2088	2088	2085	2133
Meau (g/cm³)	1,940	2,112	2,236	2,137
Meas(g/cm³)	**1,874**	**1,984**	**2,047**	**1,907**
Obs				

TEOR DE UMIDADE								
Teor	3%		6%		9%		12%	
Capsula nº	42	43	44	45	14	49	63	66
Amostra Úmida + Tara (g)	135,87	146,66	117,46	126,33	132,69	138,94	152,78	151,55
Amostra Seca + Tara (g)	131,99	142,91	112,00	120,88	123,86	130,29	140,17	139,19
Tara (g)	23,08	35,12	26,98	35,67	28,45	36,68	35,98	36,28
Teor de Umidade (%)	**3,56**	**3,48**	**6,42**	**6,40**	**9,25**	**9,24**	**12,10**	**12,01**
Média	**3,52**		**6,41**		**9,25**		**12,06**	

Densidade Seca Máxima	**2,05**	g/cm³	1,87	1,98	2,05	1,91	
Umidade Ótima	**9,00**	%	3,52	6,41	9,25	12,06	

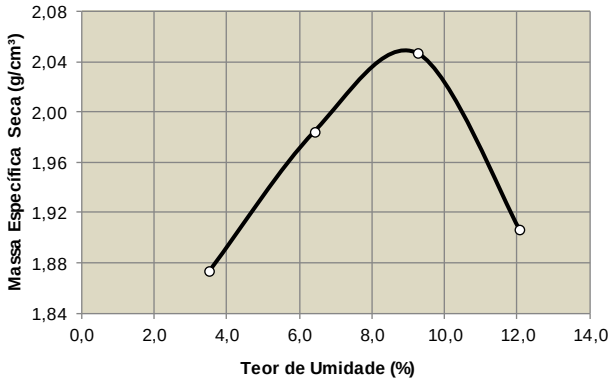


Figura 189: Ensaio de Compactação – subleito km 418 (Pista norte)

Latina Manutenção
arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Regis Bittencourt - janela km 423+050	**Operador:**	Diego
Identificação:		**Data:**	05/05/2014

Energia de Compactação	( ) - N	(x) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	26		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO				
Corpo de Prova n.	10	12	13	21
Massa Úmida + Molde (g)	8.630,0	8.885,0	8.945,0	8.910,0
Peso do molde (g)	4.224,0	4.233,0	4.156,0	4.154,0
Massa Úmida (g)	4.406,0	4.652,0	4.789,0	4.756,0
Volume molde (cm³)	2082	2116	2085	2090
Meau (g/cm³)	2,116	2,198	2,297	2,276
Meas(g/cm³)	**2,055**	**2,077**	**2,114**	**1,998**
Obs				

TEOR DE UMIDADE								
Teor	3%		6%		9%		12%	
Capsula n°	110	118	123	106	114	108	116	122
Amostra Úmida + Tara (g)	1.041,13	831,14	824,17	875,20	1.189,45	1.350,25	1.029,90	1.105,01
Amostra Seca + Tara (g)	1.016,71	809,37	783,86	834,92	1.107,98	1.250,02	920,28	984,94
Tara (g)	123,98	126,15	118,96	122,56	129,66	131,16	129,81	120,66
Teor de Umidade (%)	**2,74**	**3,19**	**6,06**	**5,65**	**8,33**	**8,96**	**13,87**	**13,89**
Média	**2,96**		**5,86**		**8,64**		**13,88**	

Densidade Seca Máxima	**2,11**	g/cm³	2,06	2,08	2,11	2,00	
Umidade Ótima	**8,20**	%	2,96	5,86	8,64	13,88	

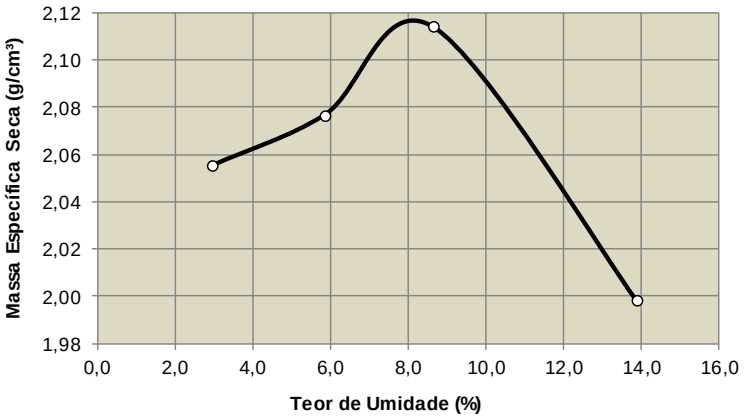


Figura 190: Ensaio de Compactação – subleito km 423 (Pista norte)

Latina Manutenção
arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Regis Bittencourt - Janela km 428	**Operador:**	Diego
Identificação:	A-5	**Data:**	05/05/2014

Energia de Compactação	( ) - N	(x) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	26		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO				
Corpo de Prova n.	1	2	5	8
Massa Úmida + Molde (g)	8.430,0	8.940,0	8.860,0	8.745,0
Peso do molde (g)	4.166,0	4.418,0	4.209,0	4.171,0
Massa Úmida (g)	4.264,0	4.522,0	4.651,0	4.574,0
Volume molde (cm³)	2082	2074	2091	2070
Meau (g/cm³)	2,048	2,180	2,224	2,210
Meas(g/cm³)	**1,977**	**2,049**	**2,039**	**1,964**
Obs				

TEOR DE UMIDADE								
Teor	3%		6%		9%		12%	
Capsula n°	2	6	13	51	4	25	5	14
Amostra Úmida + Tara (g)	167,55	165,28	166,87	161,00	182,55	174,25	237,46	246,18
Amostra Seca + Tara (g)	162,51	160,51	158,22	152,78	170,67	161,72	214,00	221,81
Tara (g)	23,98	26,23	24,14	24,34	37,14	26,17	24,94	29,37
Teor de Umidade (%)	**3,64**	**3,55**	**6,45**	**6,40**	**8,90**	**9,24**	**12,41**	**12,66**
Média	**3,60**		**6,43**		**9,07**		**12,54**	

Densidade Seca Máxima	**2,05**	g/cm³	1,98	2,05	2,04	1,96	
Umidade Ótima	**7,30**	%	3,60	6,43	9,07	12,54	

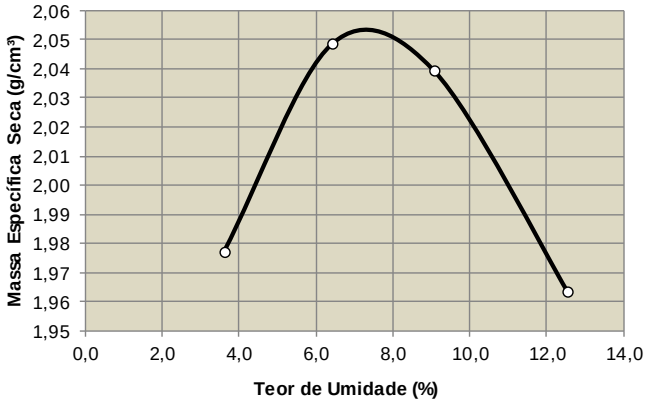


Figura 191: Ensaio de Compactação – subleito km 429 (Pista norte)

Latina Manutenção
arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo de subleito Regis Bittencourt - janela km 431+000	**Operador:**	Diego
Identificação:	A-2-4	**Data:**	01/09/2014

Energia de Compactação	( ) - N (X) - I ( ) - M
Soquete	( ) Pequeno (x) Grande
Número de Camadas	(5)
Número de Golpes por Camada	26
Volume do cilindro (m³)	1260
Massa do Molde (g)	2251
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00 x 12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO					
Corpo de Prova n.	18	19	20	21	22
Massa Úmida + Molde (g)	8.385,0	8.800,0	8.925,0	8.815,0	8.725,0
Peso do molde (g)	4.264,0	4.371,0	4.238,0	4.154,0	4.152,0
Massa Úmida (g)	4.121,0	4.429,0	4.687,0	4.661,0	4.573,0
Volume molde (cm³)	2122	2088	2085	2090	2133
Meau (g/cm³)	1,942	2,121	2,248	2,230	2,144
Meas(g/cm³)	**1,865**	**2,017**	**2,083**	**2,033**	**1,906**
Obs					

TEOR DE UMIDADE										
Teor	2%		4%		6%		8%		10%	
Capsula n°	5	7	9	16	17	18	38	39	40	80
Amostra Úmida + Tara (g)	122,98	139,12	114,45	122,96	116,39	130,49	128,77	133,05	136,45	150,33
Amostra Seca + Tara (g)	118,98	134,57	110,91	117,62	109,53	123,50	119,91	123,35	124,08	137,41
Tara (g)	23,59	23,93	32,44	25,96	22,55	35,43	26,03	25,72	26,31	32,16
Teor de Umidade (%)	**4,19**	**4,11**	**4,51**	**5,83**	**7,89**	**7,94**	**9,44**	**9,94**	**12,65**	**12,28**
Média	**4,15**		**5,17**		**7,91**		**9,69**		**12,46**	

Densidade Seca Máxima	**2,08**	g/cm³
Umidade Ótima	**7,91**	%

1,86	2,02	2,08	2,03	1,91
4,15	5,17	7,91	9,69	12,46

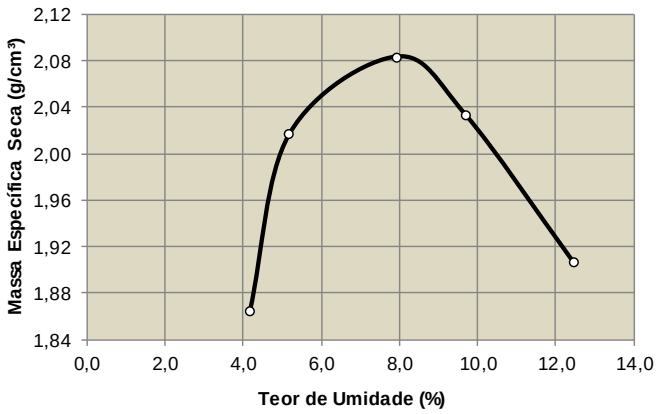


Figura 192: Resultado do ensaio de compactação (subleito, km 431, pista norte)

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Regis Bittencourt - janela km 434 (P. Norte)	**Operador:**	Diego
Identificação:		**Data:**	######

Energia de Compactação	( ) - N (x) - I ( ) - M
Soquete	( ) Pequeno (x) Grande
Número de Camadas	(5)
Número de Golpes por Camada	26
Volume do cilindro (m³)	1260
Massa do Molde (g)	2251
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00 x 12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO					
Corpo de Prova n.	6	7	8	9	10
Massa Úmida + Molde (g)	8.415,0	8.675,0	8.835,0	8.810,0	8.815,0
Peso do molde (g)	4.127,0	4.176,0	4.171,0	4.107,0	4.224,0
Massa Úmida (g)	4.288,0	4.499,0	4.664,0	4.703,0	4.591,0
Volume molde (cm³)	2074	2121	2070	2096	2082
Meau (g/cm³)	2,068	2,121	2,253	2,244	2,205
Meas(g/cm³)	**1,989**	**2,013**	**2,091**	**2,033**	**1,969**
Obs					

TEOR DE UMIDADE										
Teor	4%		6%		8%		10%		12%	
Capsula n°	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Amostra Úmida + Tara (g)	114,70	123,77	126,86	126,79	122,95	125,08	155,99	142,95	150,06	175,44
Amostra Seca + Tara (g)	111,20	120,12	122,83	121,36	115,79	117,78	143,63	131,78	136,76	159,58
Tara (g)	26,27	23,93	36,40	32,44	23,43	24,14	24,33	24,47	28,48	24,65
Teor de Umidade (%)	**4,12**	**3,79**	**4,66**	**6,11**	**7,75**	**7,80**	**10,36**	**10,41**	**12,28**	**11,75**
Média	**3,96**		**5,38**		**7,77**		**10,38**		**12,02**	

Densidade Seca Máxima	**2,09**	g/cm³	1,99	2,01	2,09	2,03	1,97
Umidade Ótima	**7,77**	%	3,96	5,38	7,77	10,38	12,02

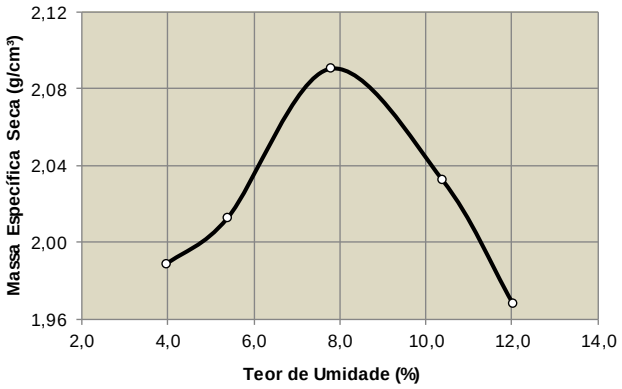


Figura 193: Resultado do ensaio de compactação (subleito, km 434, pista norte)

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Regis Bittencourt - janela km 456 (P. Norte)	**Operador:**	Diego
Identificação:		**Data:**	09/10/2014

Energia de Compactação	( ) - N	(x) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	26		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO					
Corpo de Prova n.	11	12	13	14	15
Massa Úmida + Molde (g)	8.160,0	8.480,0	8.665,0	8.870,0	8.610,0
Peso do molde (g)	4.101,0	4.233,0	4.156,0	4.220,0	4.099,0
Massa Úmida (g)	4.059,0	4.247,0	4.509,0	4.650,0	4.511,0
Volume molde (cm³)	2088	2116	2085	2120	2121
Meau (g/cm³)	1,944	2,007	2,163	2,193	2,127
Meas(g/cm³)	**1,869**	**1,889**	**1,999**	**1,985**	**1,887**
Obs					

TEOR DE UMIDADE										
Teor	4%		5%		8%		10%		12%	
Capsula n°	16	17	18	19	20	31	32	33	34	35
Amostra Úmida + Tara (g)	127,94	138,82	153,92	157,73	123,98	120,28	108,14	114,74	125,58	133,93
Amostra Seca + Tara (g)	123,96	134,45	146,56	151,06	116,94	113,09	100,51	106,35	114,45	122,71
Tara (g)	25,96	22,55	35,43	36,65	30,58	25,19	29,68	24,65	24,81	36,04
Teor de Umidade (%)	**4,06**	**3,91**	**6,62**	**5,83**	**8,15**	**8,18**	**10,77**	**10,27**	**12,42**	**12,95**
Média	**3,98**		**6,23**		**8,17**		**10,52**		**12,68**	

Densidade Seca Máxima	**2,00**	g/cm³	1,87	1,89	2,00	1,98	1,89
Umidade Ótima	**8,17**	%	3,98	6,23	8,17	10,52	12,68

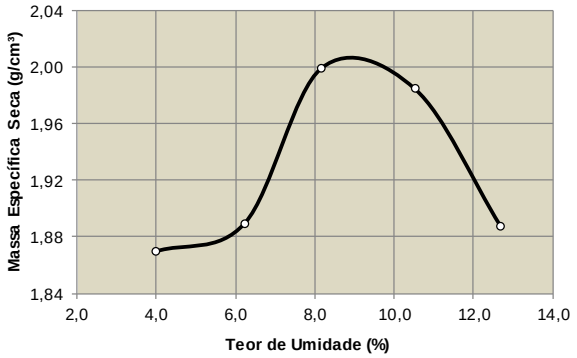


Figura 194: Resultado do ensaio de compactação (subleito, km 456, pista norte).

Latina Manutenção
arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Regis Bittencourt - janela km 460 (P. Norte)	**Operador:**	Diego
Identificação:		**Data:**	09/10/2014

Energia de Compactação	( ) - N	(x) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno	(x) Grande	
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	26		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO

Corpo de Prova n.	18	19	20	21	22
Massa Úmida + Molde (g)	8.290,0	8.420,0	8.460,0	8.300,0	8.215,0
Peso do molde (g)	4.264,0	4.371,0	4.238,0	4.154,0	4.152,0
Massa Úmida (g)	4.003,0	4.156,0	4.326,0	4.219,0	4.227,0
Volume molde (cm³)	2122	2088	2085	2090	2133
Meau (g/cm³)	1,886	1,990	2,075	2,019	1,982
Meas(g/cm³)	**1,643**	**1,690**	**1,727**	**1,669**	**1,587**
Obs					

TEOR DE UMIDADE

Teor	10%		12%		14%		16%		18%	
Capsula n°	40	41	42	43	44	45	36	37	38	39
Amostra Úmida + Tara (g)	110,21	121,83	114,40	126,76	125,36	125,87	141,20	115,28	138,94	132,41
Amostra Seca + Tara (g)	99,45	110,11	100,80	112,77	108,87	110,74	122,05	99,50	116,54	111,05
Tara (g)	26,31	31,38	23,11	35,14	27,02	35,69	31,78	23,23	26,03	25,72
Teor de Umidade (%)	**14,71**	**14,89**	**17,51**	**18,02**	**20,15**	**20,16**	**21,21**	**20,69**	**24,75**	**25,03**
Média	**14,80**		**17,76**		**20,15**		**20,95**		**24,89**	

Densidade Seca Máxima	**1,73**	g/cm³	1,64	1,69	1,73	1,67	1,59
Umidade Ótima	**20,15**	%	14,80	17,76	20,15	20,95	24,89

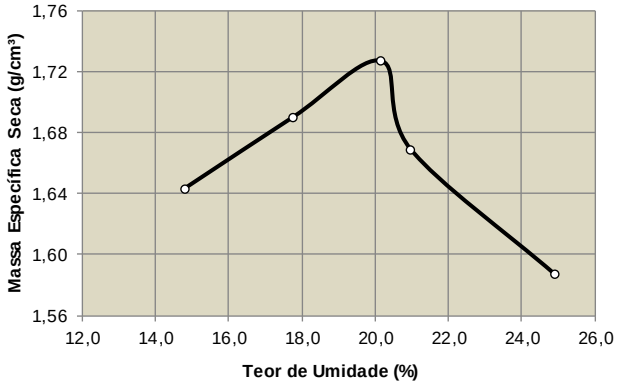


Figura 195: Resultado do ensaio de compactação (subleito, km 460, pista norte).

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Regis Bittencourt - janela km 482 (P. Sul)	**Operador:**	Diego
Identificação:	A - 2 - 4	**Data:**	16/10/2014

Energia de Compactação	( ) - N	(x) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	26		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO					
Corpo de Prova n.	4	1	2	3	
Massa Úmida + Molde (g)	8.170,0	8.485,0	8.765,0	8.700,0	
Peso do molde (g)	4.105,0	4.166,0	4.418,0	4.155,0	
Massa Úmida (g)	4.065,0	4.319,0	4.347,0	4.545,0	
Volume molde (cm³)	2080	2082	2074	2130	
Meau (g/cm³)	1,954	2,074	2,096	2,134	
Meas(g/cm³)	**1,911**	**1,980**	**1,980**	**1,976**	
Obs					

TEOR DE UMIDADE										
Teor	2%		4%		6%		8%			
Capsula nº	7	8	1	2	3	4	5	6		
Amostra Úmida + Tara (g)	122,25	136,42	136,85	131,22	118,04	112,89	114,63	133,77		
Amostra Seca + Tara (g)	120,42	133,85	131,69	126,56	113,48	107,41	107,79	125,98		
Tara (g)	23,93	36,40	27,39	24,00	25,82	23,59	23,59	26,27		
Teor de Umidade (%)	**1,90**	**2,64**	**4,95**	**4,54**	**5,20**	**6,54**	**8,12**	**7,81**		
Média	**2,27**		**4,75**		**5,87**		**7,97**			

Densidade Seca Máxima	**1,98**	g/cm³	1,91	1,98	1,98	1,98
Umidade Ótima	**4,75**	%	2,27	4,75	5,87	7,97

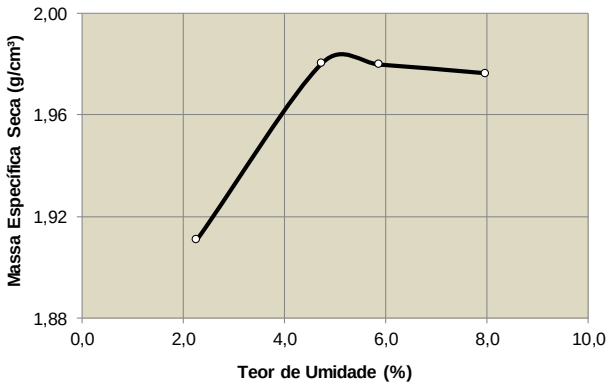


Figura 196: Resultado do ensaio de compactação (subleito, km 482, pista sul).

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO

Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima

12935-000 - Vargem / SP

Curva de Compactação - Proctor

Solicitante:	Solo Regis Bittencourt - janela km 492 (P. Sul)	**Operador:**	Diego
Identificação:	A - 1 - b	**Data:**	05/05/2014

Energia de Compactação	( ) - N	(x) - I	( ) - M
Soquete	( ) Pequeno		(x) Grande
Número de Camadas	(5)		
Número de Golpes por Camada	26		
Volume do cilindro (m³)	1260		
Massa do Molde (g)	2251		
Dimensões do C.P (D x altura) cm	10,00	x	12,7

DADOS DA COMPACTAÇÃO					
Corpo de Prova n.	9	10	5	11	12
Massa Úmida + Molde (g)	8.110,0	8.380,0	8.535,0	8.320,0	8.460,0
Peso do molde (g)	4.107,0	4.224,0	4.209,0	4.101,0	4.233,0
Massa Úmida (g)	4.003,0	4.156,0	4.326,0	4.219,0	4.227,0
Volume molde (cm³)	2096	2082	2091	2088	2116
Meau (g/cm³)	1,910	1,996	2,069	2,021	1,998
Meas(g/cm³)	**1,758**	**1,808**	**1,842**	**1,747**	**1,678**
Obs					

TEOR DE UMIDADE										
Teor	8%		10%		12%		14%		16%	
Capsula n°	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16
Amostra Úmida + Tara (g)	138,76	141,18	130,46	136,86	132,37	124,51	122,08	138,15	158,20	160,02
Amostra Seca + Tara (g)	130,09	132,21	121,55	126,89	120,98	113,05	108,18	124,07	137,22	138,14
Tara (g)	22,55	35,43	36,65	30,58	24,14	24,33	24,47	28,48	24,65	25,96
Teor de Umidade (%)	**8,06**	**9,27**	**10,49**	**10,35**	**11,76**	**12,92**	**16,60**	**14,73**	**18,64**	**19,50**
Média	**8,67**		**10,42**		**12,34**		**15,67**		**19,07**	

Densidade Seca Máxima	**1,84**	g/cm³
Umidade Ótima	**12,34**	%

1,76	1,81	1,84	1,75	1,68
8,67	10,42	12,34	15,67	19,07

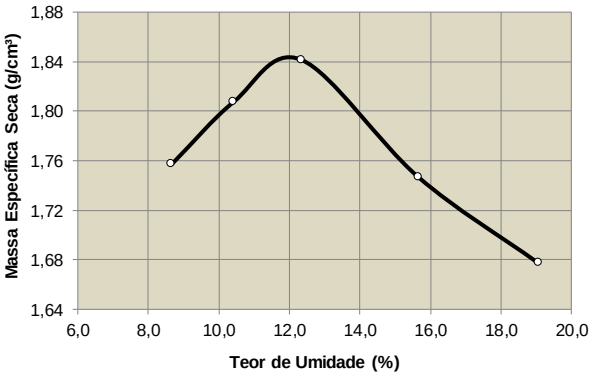


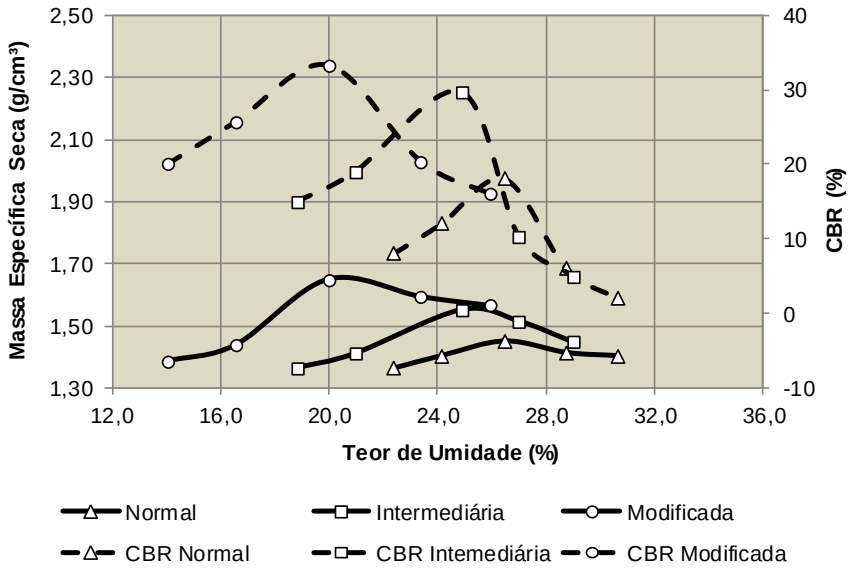
Figura 197: Resultado do ensaio de compactação (subleito, km 492, pista sul).

ENSAIO DE CBR E EXPANSÃO

Latina Manutenção arteris

CDT - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLOGICO
Estrada Municipal José de Souza Bueno, 97 – Rio Acima
12935-000 - Vargem / SP
Curva de Compactação - Proctor

Energia Modificada								
Densidade Seca Máxima	**1,66**	g/cm³		1,39	1,44	1,65	1,59	1,57
Umidade Ótima	**21,00**	%		14,0	16,6	20,0	23,4	26,0
Energia Intermediária								
Densidade Seca Máxima	**1,56**	g/cm³		1,37	1,41	1,55	1,52	1,45
Umidade Ótima	**25,00**	%		18,8	21,0	24,9	27,0	29,0
Energia Normal								
Densidade Seca Máxima	**1,45**	g/cm³		1,36	1,40	1,45	1,42	1,40
Umidade Ótima	**26,50**	%		22,4	24,1	26,5	28,7	30,6



Energia Modificada								
CBR %	20	25,7	33,3	20,4	16			
EXP %	2,2	0,2	0,1	0,1	0,0			
Energia Intermediária								
CBR %	15	19	29,7	10,3	5			
EXP %	2,1	1,9	0,2	0,1	0,1			
Energia Normal								
CBR %	8	12	18	6	2			
EXP %	0,8	0,4	0,2	0,2	0,0			

Figura 198: Resultados – Ensaios de CBR e expansão (jazida, BR 381)

CBR	47,30	%
Expansão	0,00	%
Umidade Ótima	4,95	%

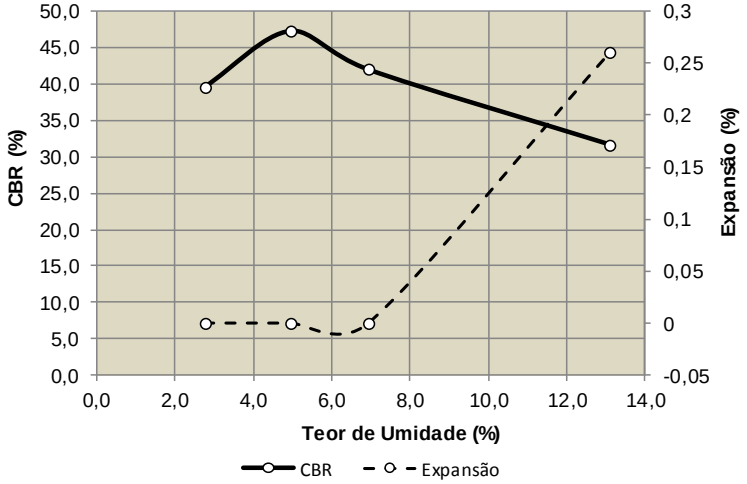


Figura 199: Resumo do ensaio de CBR (subleito, km 402, pista norte).

CBR	34,60	%
Expansão	0,01	%
Umidade Ótima	7,00	%

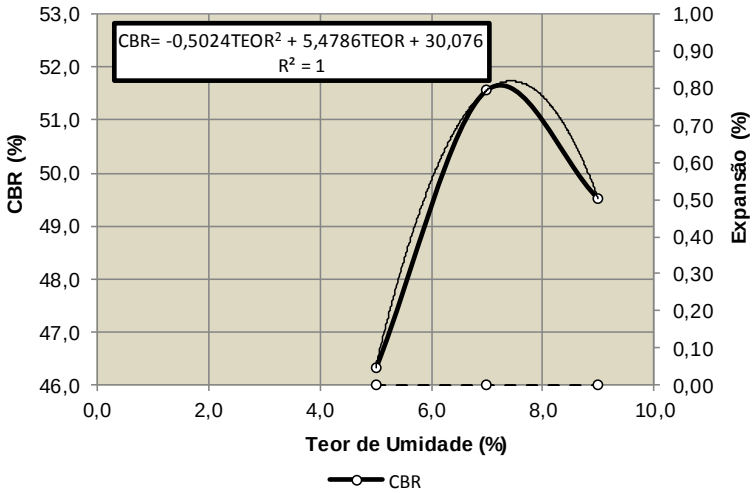


Figura 200: Resumo do ensaio de CBR (subleito, km 405, pista norte).

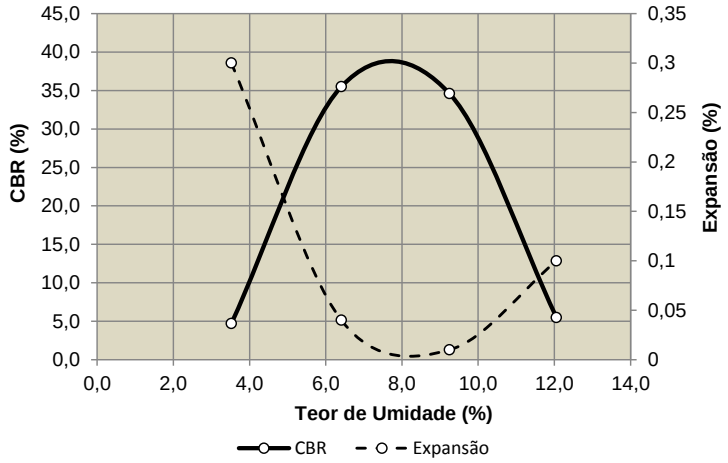


Figura 201: Resumo dos ensaios de CBR e compactação – subleito km 418 (Pista norte)

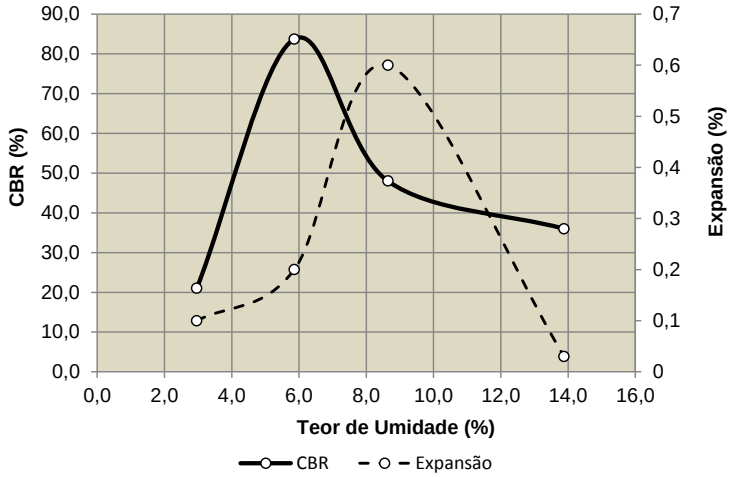


Figura 202: Resumo dos ensaios de CBR e compactação – subleito km 423 (Pista norte)

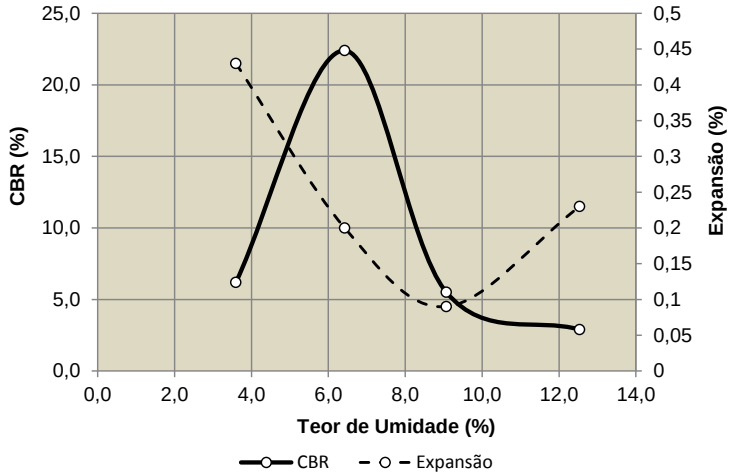


Figura 203: Resumo dos ensaios de CBR e compactação – subleito km 429 (Pista norte)

CBR	32,38	%
Expansão	0,01	%
Umidade Ótima	7,91	%

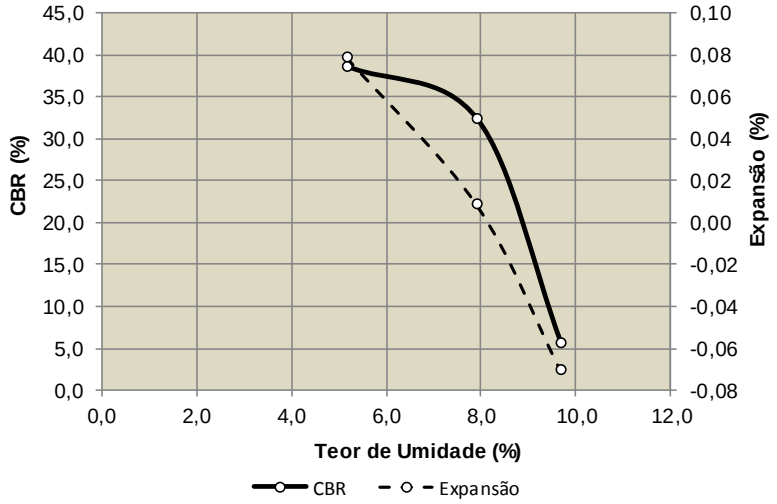


Figura 204: Resumo do ensaio de CBR (subleito, km 431, pista norte)

CBR	46,7	%
Expansão	0,02	%
Umidade Ótima	7,77	%

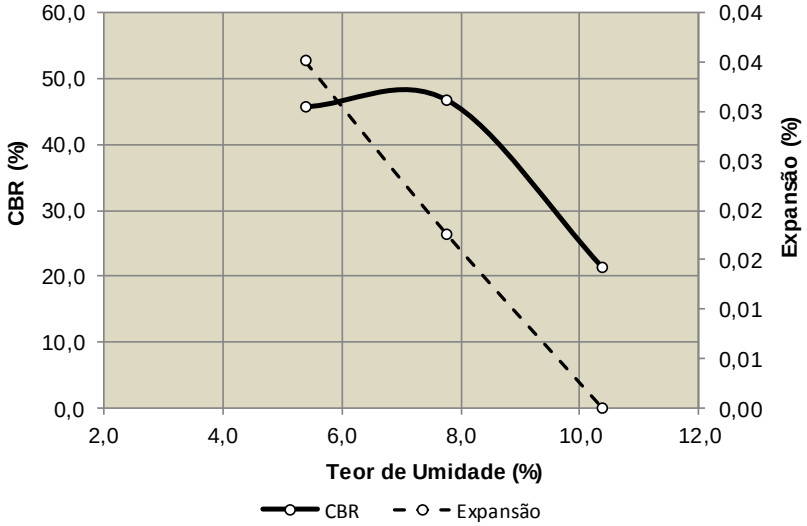


Figura 205: Resumo do ensaio de CBR (subleito, km 434, pista norte).

CBR	15,7	%
Expansão	0,74	%
Umidade Ótima	8,17	%

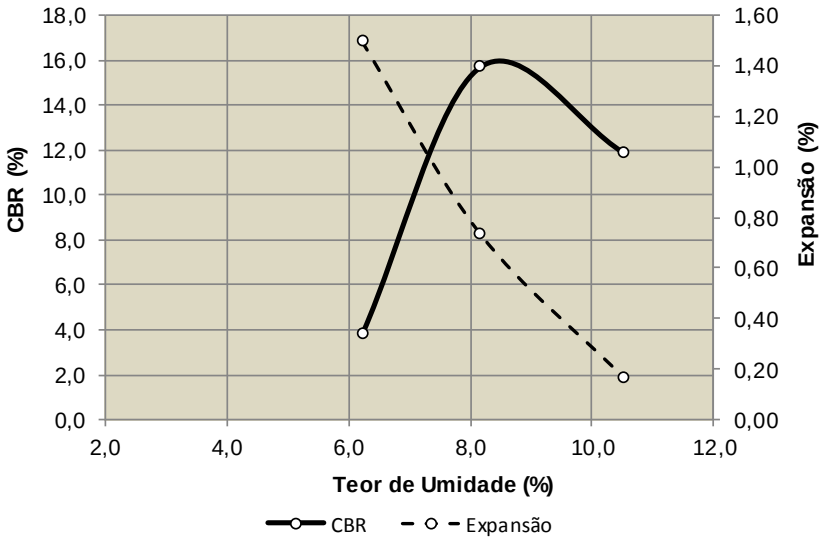


Figura 206: Resumo do ensaio de CBR (subleito, km 456, pista norte).

CBR	5,4	%
Expansão	0,26	%
Umidade Ótima	20,15	%

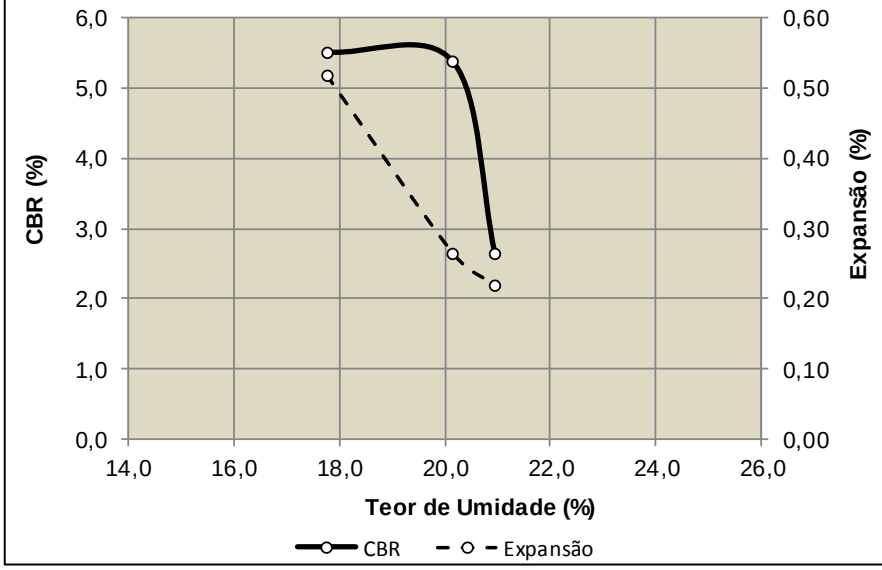


Figura 207: Resumo do ensaio de CBR (subleito, km 460, pista norte).

CBR	**25,52**	%
Expansão	**0,25**	%
Umidade Ótima	**5,87**	%

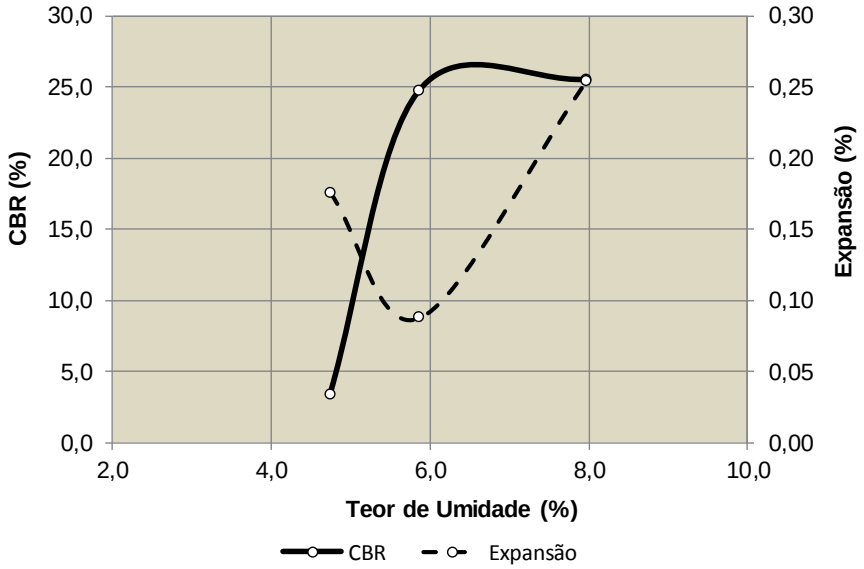


Figura 208: Resumo do ensaio de CBR (subleito, km 482, pista sul).

CBR	**58,90**	%
Expansão	**0,01**	%
Umidade Ótima	**12,34**	%

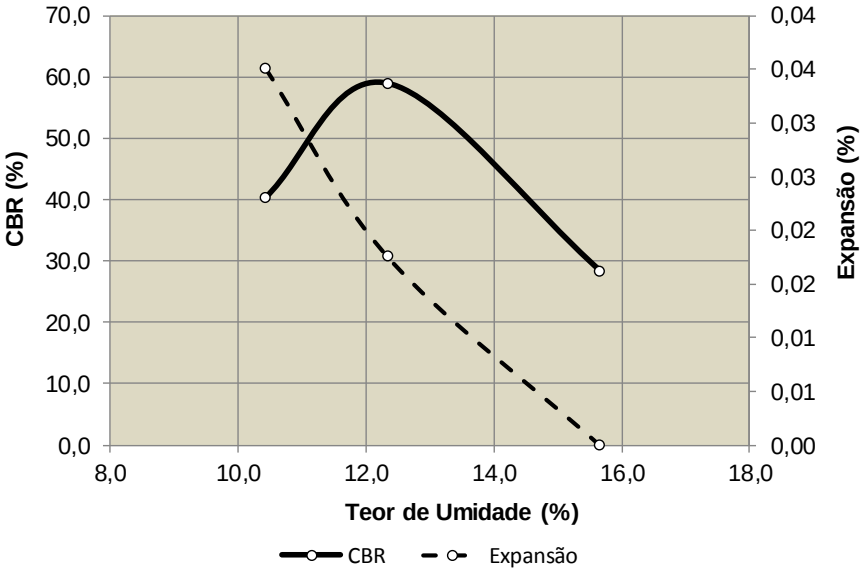


Figura 209: Resumo do ensaio de CBR (subleito, km 492, pista sul).

CLASSIFICAÇÃO MCT

Tabela 94: Classificação MCT indicativa (método da pastilha) – km 405, subleito.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
Laboratório de Tecnologia de Pavimentação

Interessado: SANTI
Obra: SOLO CASCALHO _ ARTERIS 3012
Local: Laboratório nº
Amostra: AMOSTRA
Data: 10/09/14

Ensaio das Pastilhas - MCT

Consistência (Amostra Úmida) ☐ não plástica ☐ pouco plástica ☐ plásticos ☐ muito plástica

Pastilhas

Anéis		0º	120º	240º	Média
Contração (mm)	I 6	19,69	19,77	19,73	19,73
	II 36	19,70	19,68	19,67	19,68
	II 45	19,68	19,65	19,57	19,63

Contração Média [ct] = 19,68

Formas de Expansão e Trincas

DIÂMETRO 21,77 mm APÓS REMOÇÃO

1 trinca 08 h | 1 trinca 24 h | 1 trinca 23 h

ct = 0,1 a 0,5 mm ⇒ c'=(log 10 ct + 1) / 0,904 (0,321)
ct > 0,6 mm ⇒ c'=(log 10 ct + 0,7) / 0,5

c' = 0,56

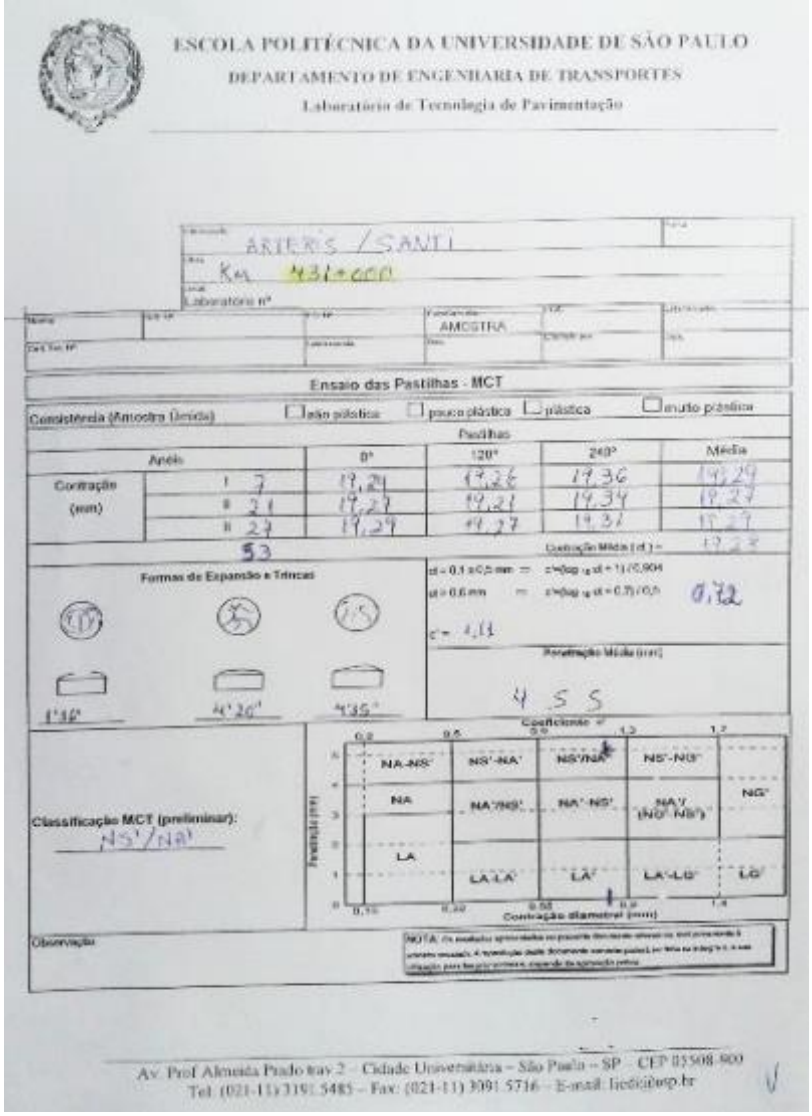
Penetração Média (mm)

6 6 6,5

Classificação MCT (preliminar):
NS' – NA'

Observação:

NOTA: Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e, a sua utilização, para fins promocionais, depende de aprovação prévia.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
Laboratório de Tecnologia de Pavimentação

ARTERIS / SANTI
Km 431+000
Laboratório nº
AMOSTRA

Ensaio das Pastilhas - MCT

Consistência (Amostra Úmida): ☐ não plástica ☐ pouco plástica ☐ plástica ☐ muito plástica

Anéis		0°	120°	240°	Média
Contração (mm)	I 7	19,24	19,26	19,36	19,29
	II 21	19,27	19,21	19,34	19,27
	III 27	19,29	19,27	19,31	19,29
	53			Contração Média (d) =	19,28

Formas de Expansão e Trincas

4'16" 4'26" 4'35"

d = 0,1 a 0,5 mm = c=(log d + 1)/0,904
d > 0,6 mm = c=(log d + 0,7)/0,5
c = 1,11

0,72

Penetração Média (mm)
4 5 5

Classificação MCT (preliminar): NS'/NA'

Coeficiente c'

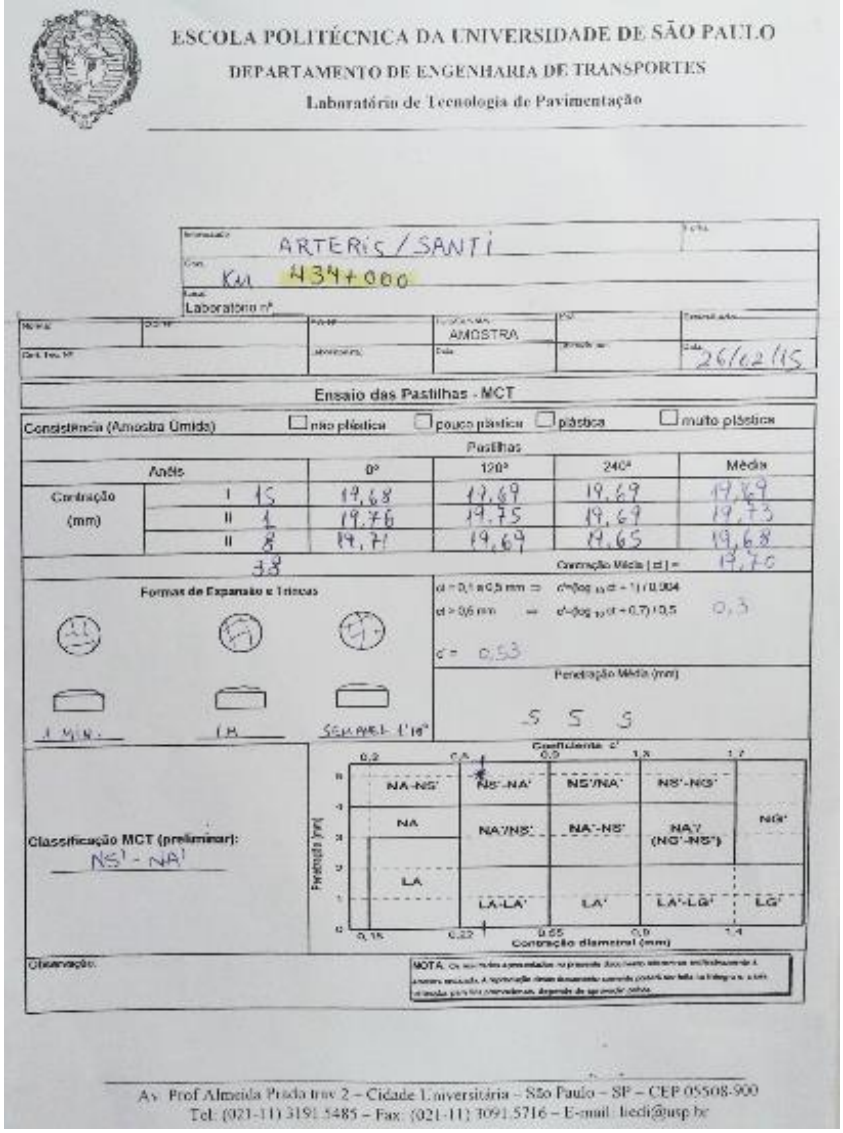
Penetração (mm)

Contração diametral (mm)

Observação

Av. Prof Almeida Prado trav 2 - Cidade Universitária - São Paulo - SP - CEP 05508-900
Tel: (021-11) 3091 5485 - Fax: (021-11) 3091 5716 - E-mail: licdci@usp.br

Figura 210: Classificação indicativa MCT pelo método expedito (pastilha) - km 431



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
Laboratório de Tecnologia de Pavimentação

ARTERIS / SANTI
Km 434+000
Laboratório nº
AMOSTRA
26/02/15

Ensaio das Pastilhas - MCT

Consistência (Amostra Úmida) ☐ não plástica ☐ pouco plástica ☐ plástica ☐ muito plástica

Anéis		Pastilhas 0°	120°	240°	Média
Contração (mm)	I 15	19,68	19,69	19,69	19,69
	II 1	19,76	19,75	19,69	19,73
	II 8	19,71	19,69	19,65	19,68
38				Contração Média [d] =	19,70

Formas de Expansão e Trincas

1 MIN. 1 M SEM REL. 1'19"

d = 0,1 a 0,5 mm ⇒ c'=(log 10 d + 1) / 0,904
d > 0,6 mm ⇒ c'=(log 10 (d + 0,7) / 0,5 0,3
c' = 0,53

Penetração Média (mm)
5 5 5

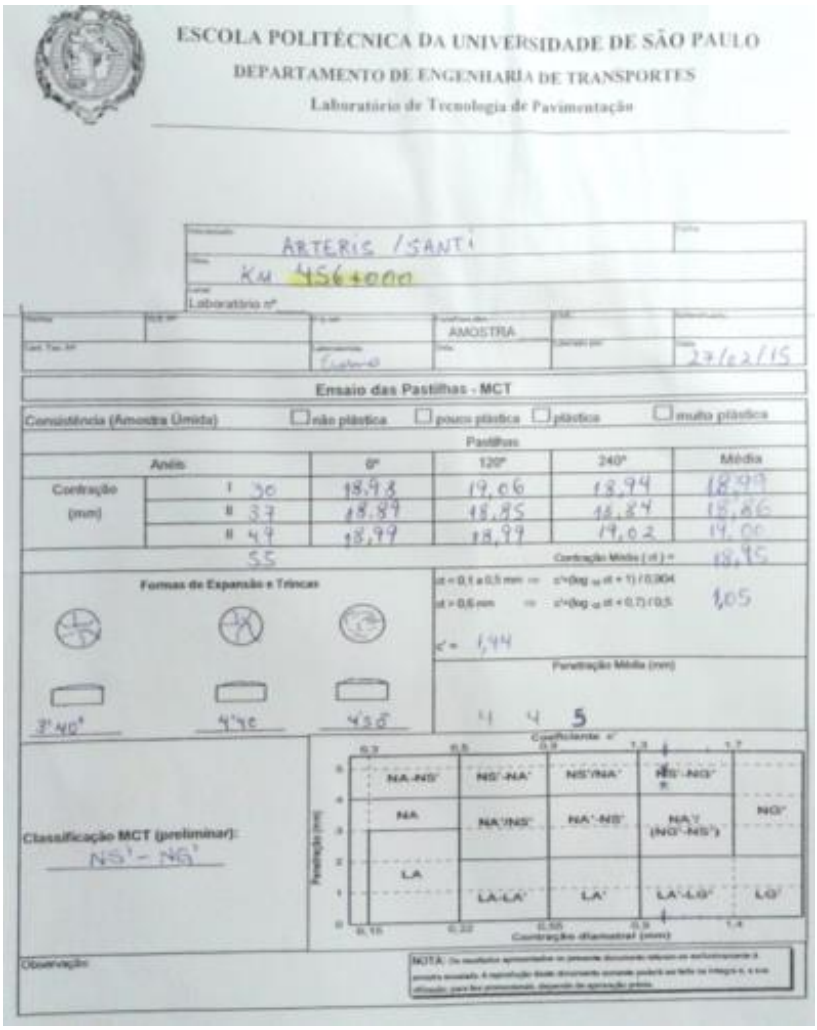
Classificação MCT (preliminar):
NS' - NA'

Coeficiente c'
Penetração (mm)
Contração diametral (mm)
NA-NS' | NS'-NA' | NS'/NA' | NS'-NG' | NA | NA'/NS' | NA'-NS' | NA'/(NG'-NS') | NG' | LA | LA-LA' | LA' | LA'-LG' | LG'

Observação:
NOTA:

Av. Prof. Almeida Prado trav. 2 – Cidade Universitária – São Paulo – SP – CEP 05508-900
Tel: (021-11) 3091 5485 – Fax: (021-11) 3091 5716 – E-mail: liedi@usp.br

Figura 211: Classificação indicativa MCT pelo método expedito (pastilha) – km 434



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
Laboratório de Tecnologia de Pavimentação

ARTERIS / SANTI
KM 456+000
Laboratório nº
AMOSTRA
27/02/15

Ensaio das Pastilhas - MCT

Consistência (Amostra Úmida): ☐ não plástica ☐ pouco plástica ☐ plástica ☐ muito plástica

Pastilhas	Anéis	0°	120°	240°	Média
Contração (mm)	I 30	18,98	19,06	18,94	18,99
	II 37	18,89	18,95	18,84	18,86
	II 49	18,99	18,99	19,02	19,00
	55			Contração Média (dl) =	18,95

Formas de Expansão e Trincas

3'40" 4'45 4'50

dl = 0,1 a 0,5 mm ⇒ c'=(log dl + 1) / 0,304
dl > 0,6 mm ⇒ c'=(log dl + 0,7) / 0,5

c' = 1,44

Penetração Média (mm): 4 4 5

Classificação MCT (preliminar): NS' - NG'

Coeficiente c': 0,7 0,8 0,9 1,3 1,7
Penetração (mm): 0 1 2 3 4 5
Contração diametral (mm): 0,15 0,22 0,33 0,9 1,4

NA-NS' | NG'-NA' | NS'-NA' | NS'-NG' | NG'
NA | NA'-NS' | NA'-NS' | NA' (NG'-NS') | NG'
LA | LA-LA' | LA' | LA'-LG' | LG'

Observação:

NOTA: Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

Figura 212: Classificação indicativa MCT pelo método expedito (pastilha) – km456

ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA

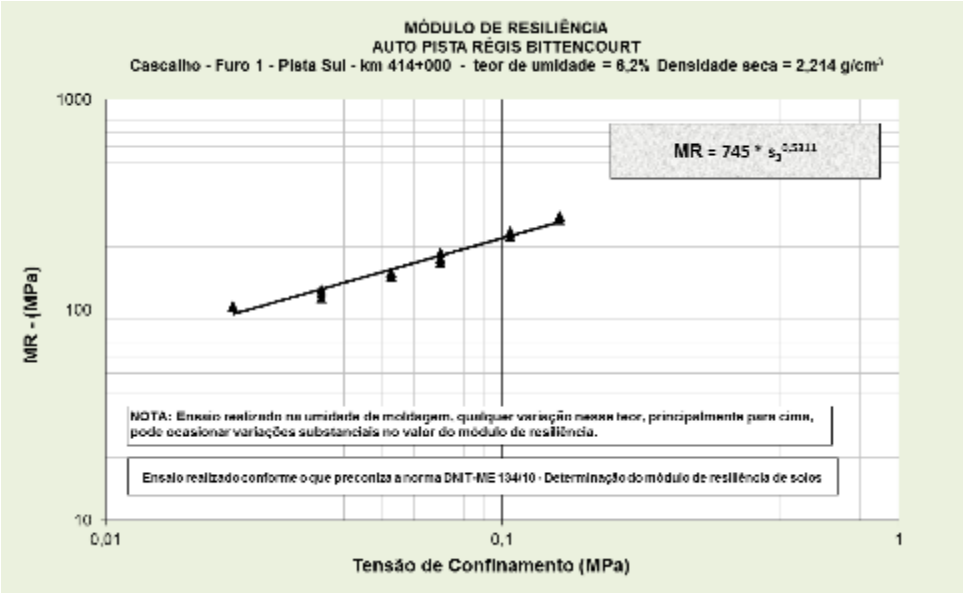


Figura 213: Resultados dos ensaios de MR (sub-base, km 414, Pista Sul)

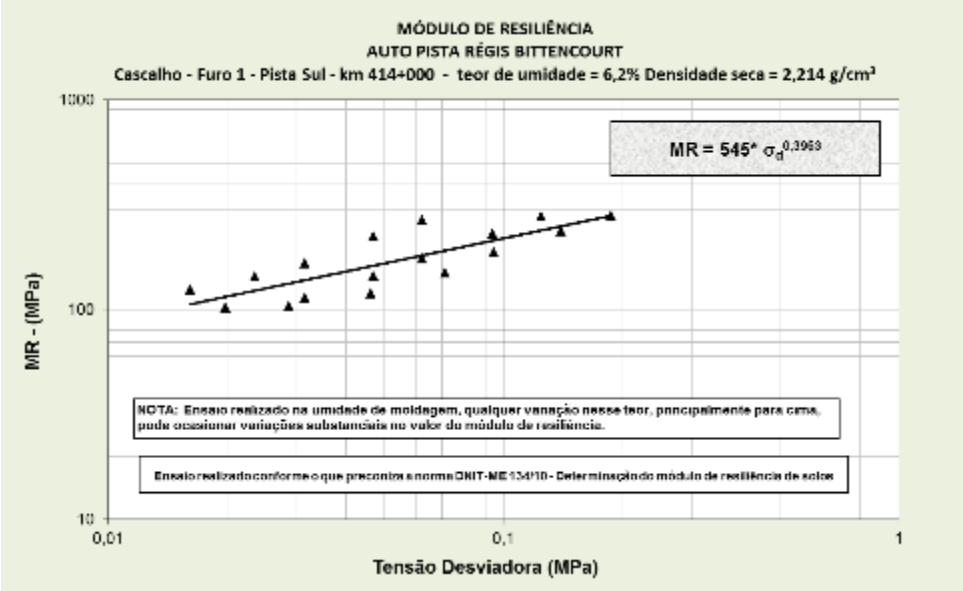
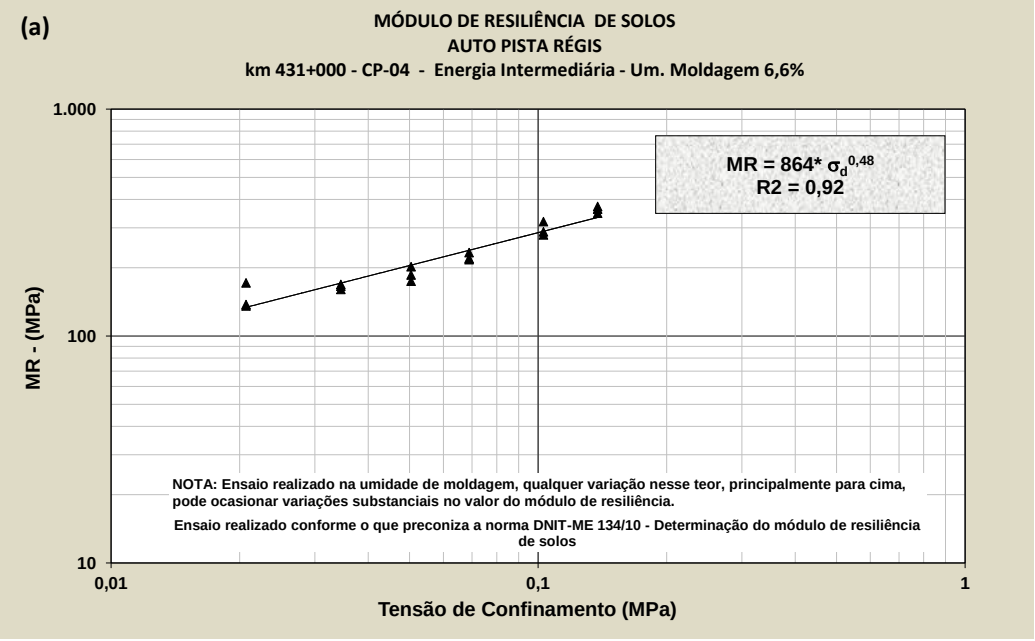


Figura 214: Resultados dos ensaios de MR (sub-base, km 414, Pista Sul).



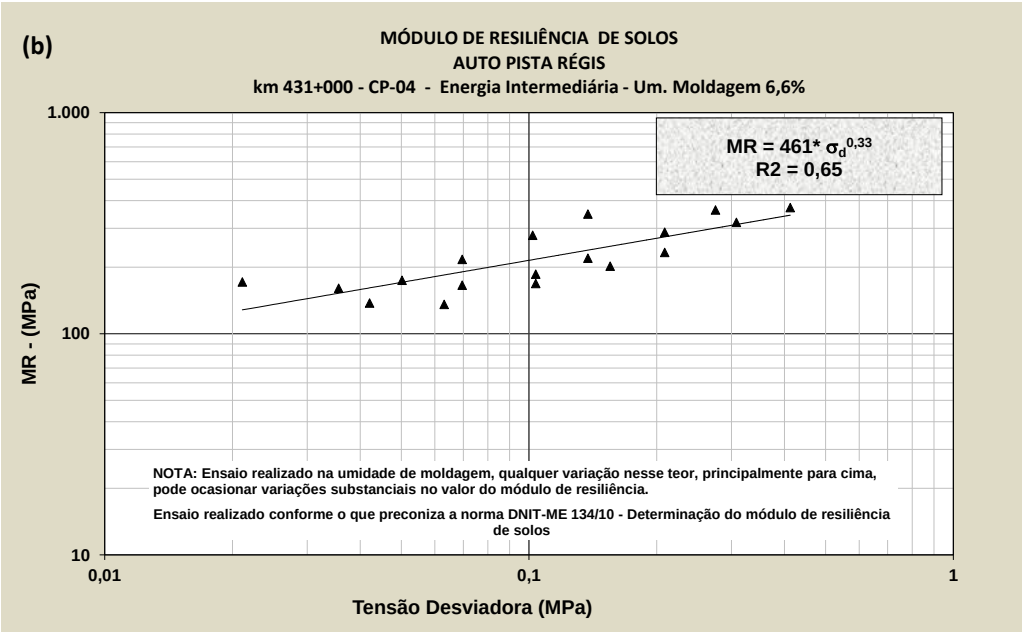
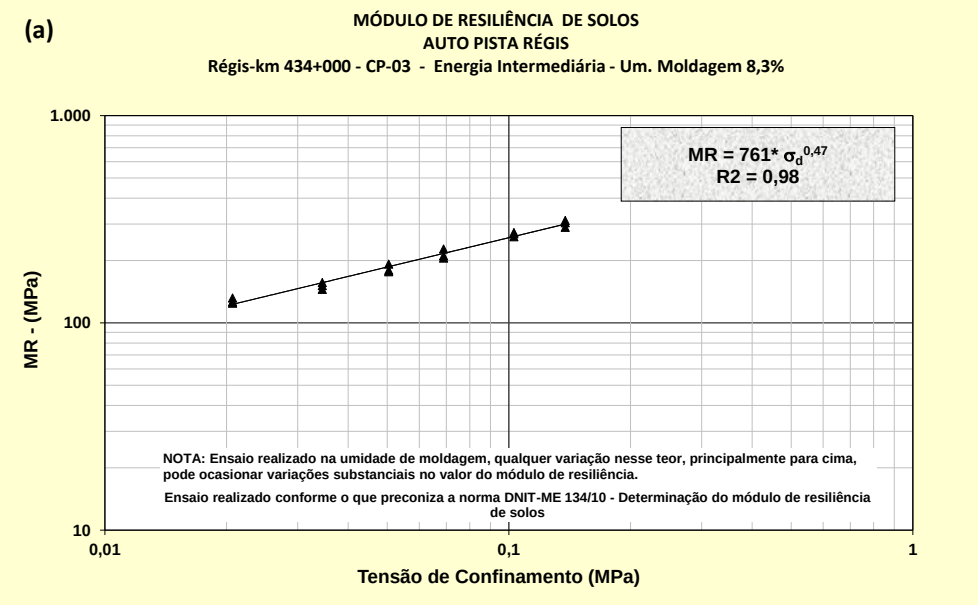


Figura 215: Módulo em função de: (a) σ3 e (b) σd (subleito, km 431, pista norte)



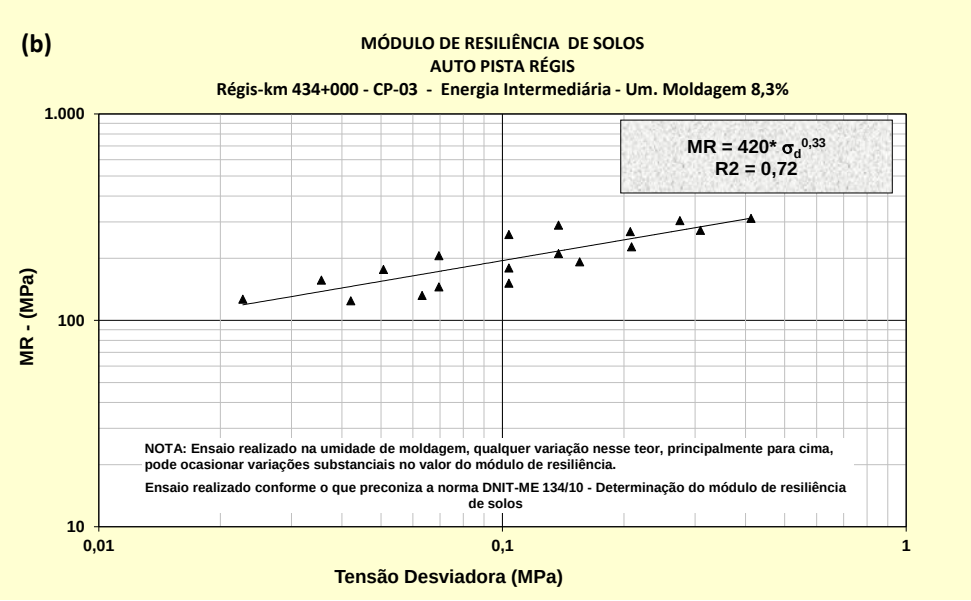


Figura 216: Módulo em função de: (a) σ3 e (b) σd (subleito, km 434, pista norte)

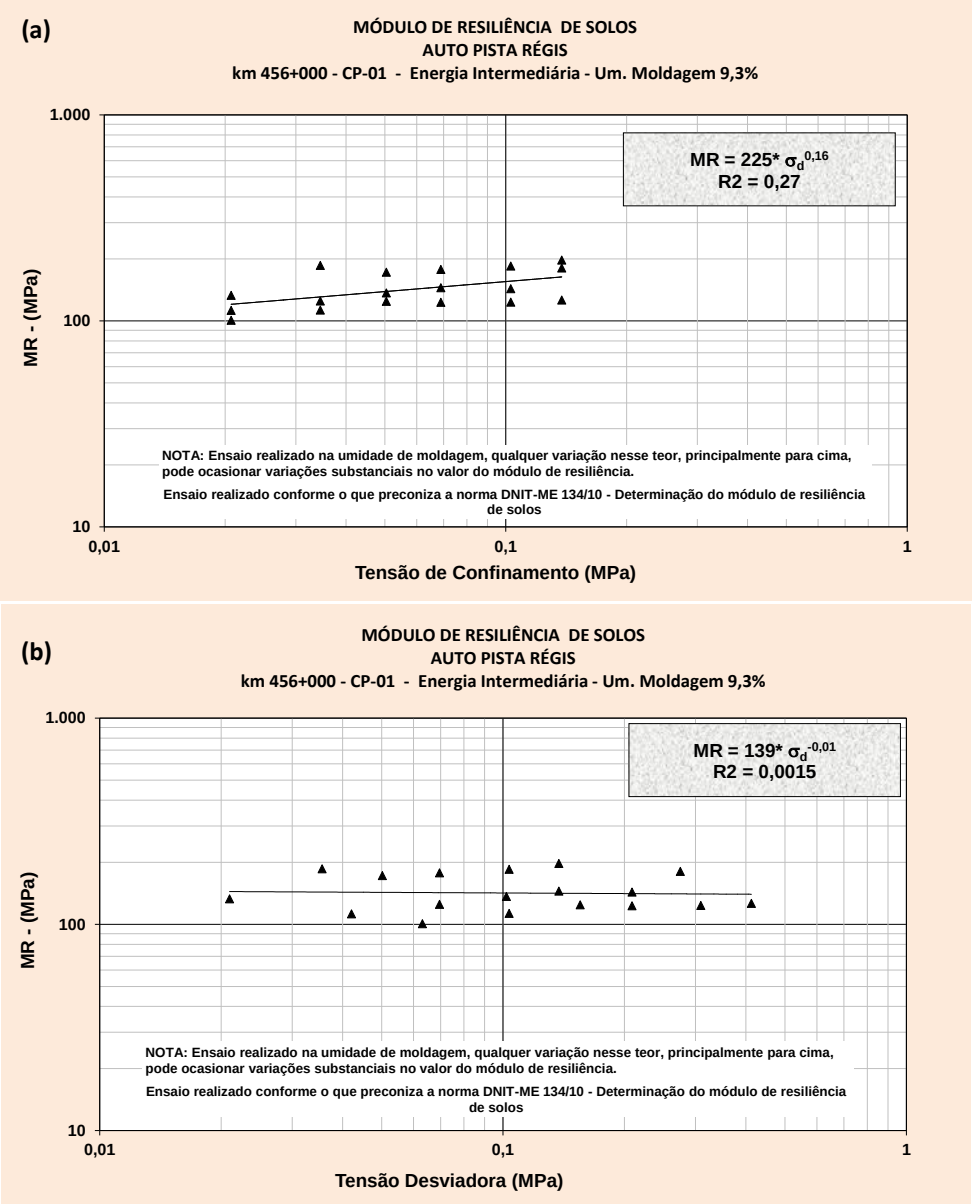


Figura 217: Módulo em função de: (a) σ3 e (b) σd (subleito, km 456, pista norte)

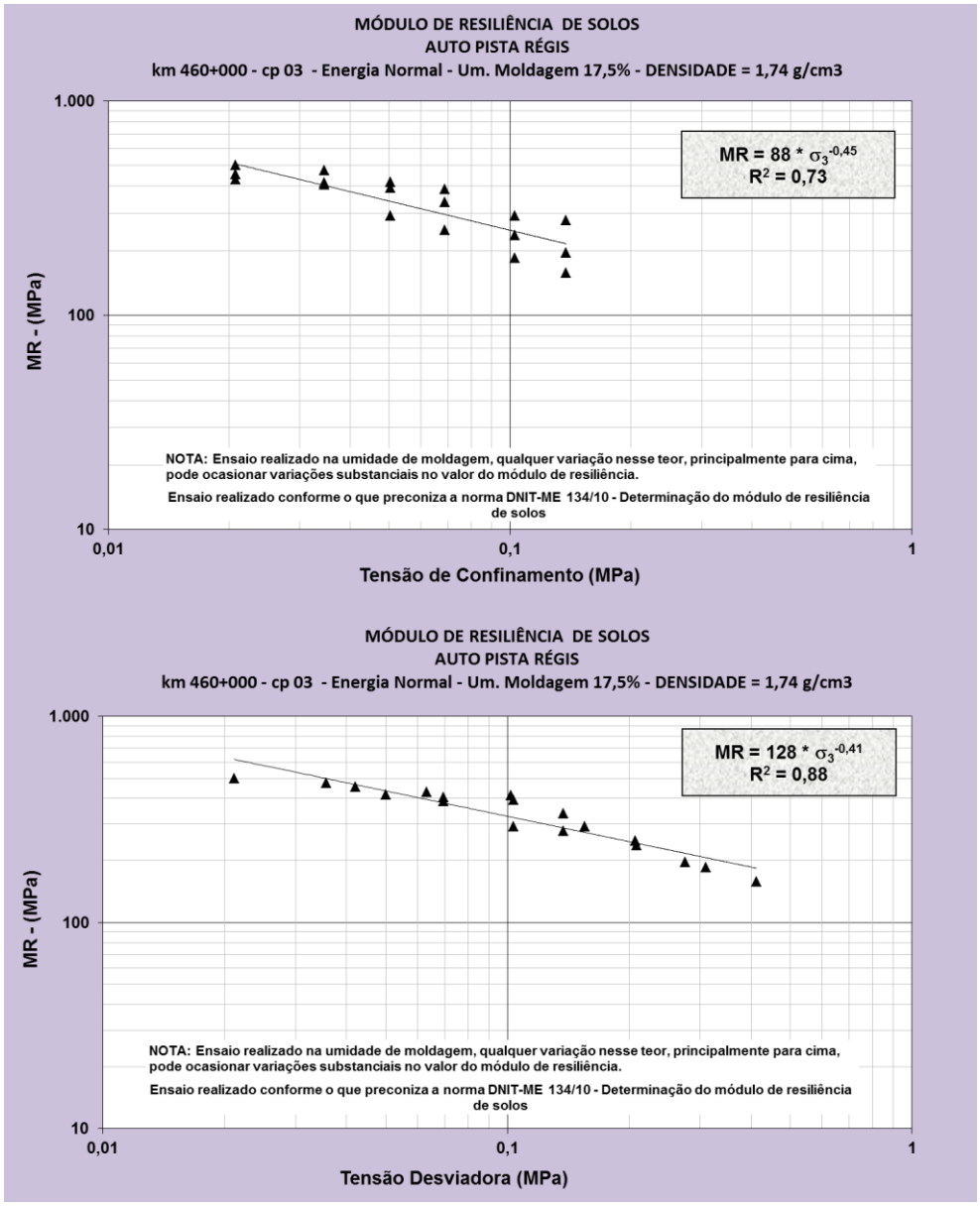


Figura 218: Resultado do novo ensaio de módulo do material de subleito do km 460 em função da tensão de confinamento (a) e tensão desviadora (b)