

PLANO DE TRABALHO

Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT

Capítulo XX do Edital 02, Lote 05, item 10 do PER

Rodovia BR-381 – Trecho Belo Horizonte – São Paulo

**PROJETO 1
SGP/AFD_01 REV.01**

EXECUÇÃO DE UMA CAMADA DELGADA A FRIO COMO REDUTORA DA REFLEXÃO DE TRINCAS



Autopista Fernão Dias
Grupo OHL

RELATÓRIO FINAL

Março 2011



Ministério dos Transportes

Agência Nacional de Transportes Terrestres

SUMÁRIO

1. CONCESSIONÁRIA.....	3
2. DESCRIÇÃO DO PROJETO.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. JUSTIFICATIVA	3
4. LOCAL DE EXECUÇÃO.....	3
5. DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS.....	4
5.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS.....	4
5.2 ETAPAS	4
6. ENTIDADE OU EQUIPE EXECUTORA.....	5
7. PRODUTO	6
7.1 APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO FINAL	6
7.2 ANTECEDENTES	6
7.3 INTRODUÇÃO E CONCEITUAÇÃO.....	7
7.4 OBJETIVO.....	10
7.5 ORGANIZAÇÃO DOS TRABALHOS	10
7.6 DEFINIÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL	11
7.7 ESTUDOS DOS PROJETOS DE MISTURA	16
7.8 EXECUÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL	23
7.9 RESULTADOS DOS ENSAIOS EM AMOSTRAS COLETADAS	25
7.10 EMPRESA CONSTRUTORA E MATERIAIS UTILIZADOS.....	29
7.11 RESULTADOS DOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO	29
7.12 ANÁLISES	43
7.13 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	62

PLANO DE TRABALHO

1. CONCESSIONÁRIA

AUTOPISTA FERNÃO DIAS

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

Os trechos de pesquisa determinados para “EXECUÇÃO DE UMA CAMADA DELGADA A FRIO COMO REDUTORA DA REFLEXÃO DE TRINCAS” tem os seguintes objetivos:

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a vida útil da solução de micro revestimento a frio, com distintas técnicas executivas e teores asfálticos, como película redutora de reflexão de trincas, visando reduzir custos de investimentos em recuperação da rodovia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar o comportamento da camada de micro considerando as diferentes condições existentes na camada subjacente. Nos segmentos a serem acompanhados as condições de trincamento da superfície terão situações diferenciadas, desde um pavimento totalmente trincado (Classe FC-3) até outro com trincas leves (Classe FC-1).

3. JUSTIFICATIVA

Análise do desempenho de distintas soluções alternativas empregando micro revestimento asfáltico a frio, avaliando o tempo de vida em cada tipo de situação e analisando o custo benefício das intervenções projetadas (vida útil x investimento realizado).

4. LOCAL DE EXECUÇÃO

A execução dos serviços foi na BR-381, trecho no estado de São Paulo, próximo ao município de Mairiporã, definido em função do estado de superfície.

• DEFINIÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL

Em função dos objetivos definidos no relatório para aprovação do trecho experimental, selecionaram-se os trechos que atendiam às seguintes características:

- Segmento homogêneo, sem ter sofrido nenhum tipo de intervenção no momento atual.
- Extensão suficiente com características similares em sequência, para o mesmo tipo de tráfego.
- Segmento em aclive e declive.

Considerando as características acima, definiram-se os seguintes trechos rodoviários:

- Entre os km 62,600 e 64,600 – pista norte (ascendente) e pista sul (descendente);
- Entre os km 57,000 e km 58,000 – pista norte;
- Entre os km 56,700 e km 58,200 – pista sul.

5. DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS

O projeto foi desenvolvido em quatro segmentos homogêneos, com extensão total de 15 km de faixas, previamente definido no levantamento de campo, e que atendam às situações expostas. De trinca classe FC-3, bem deteriorada, até trinca classe FC-1, sem esborcinamento.

5.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Os ensaios utilizados estão definidos em especificações da ISSA e DNIT.

A técnica empregada foi a do micro revestimento a frio com emulsões polimerizadas, atendendo as especificações particulares quanto ao projeto da mistura e do ligante.

Optou-se pela execução de uma mistura a frio com emulsão modificada por polímero devido à sua flexibilidade.

5.2 ETAPAS

Esta pesquisa foi feita em três etapas:

5.2.1 Definição do padrão de trincamento existente.

Foram selecionados os diferentes segmentos analisando o grau de trincamento e deflexões.

5.2.2 Definição do projeto de mistura a ser adotado

Foram definidos os procedimentos de execução da mistura a frio, divididas em 3 camadas.

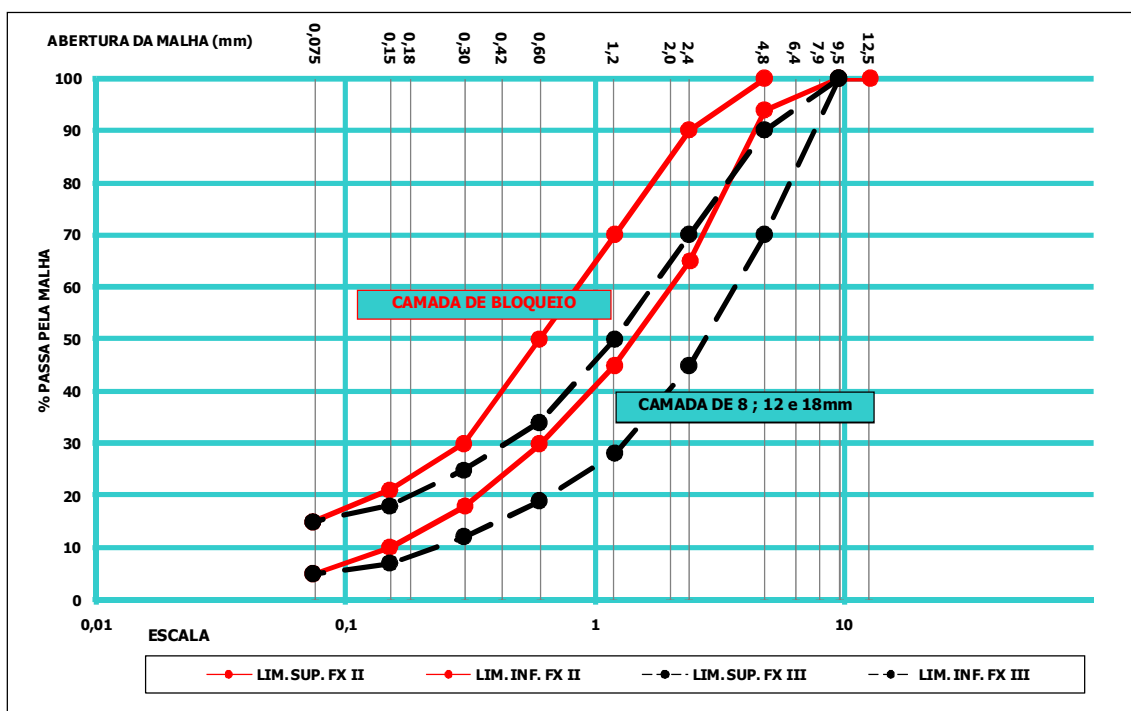
A primeira camada, chamada de “bloqueio” é uma mistura de granulometria fina (Faixa 2 da especificação da ISSA) com teor de emulsão em torno de 12%. Esta camada tem uma espessura média de 6 mm e seu objetivo é preencher os vazios das trincas, reduzir o movimento das placas e impermeabilizar a pista de rolamento.

A segunda camada, de granulometria mais grossa (Faixa 4 da especificação da ISSA) é também mais pobre em asfalto, com teores de emulsão em torno de 10%. Esta camada visa corrigir as irregularidades existentes na pista de rolamento.

A terceira e última camada, a camada final de rolamento, de granulometria média (Faixa 3 da especificação da ISSA) foi usada para o acabamento da pista. Os teores usados giraram em torno de 10,5%.

As espessuras finais das duas últimas camadas variam, em média, dependendo do segmento onde foi aplicado em 8 mm, 12 mm e 18 mm.

A figura a seguir apresenta as faixas granulométricas empregadas no presente estudo.



5.2.3 Acompanhamento do trecho executado

Após a conclusão das camadas de rolamento foram feitos levantamentos periódicos dos parâmetros, principalmente a porcentagem de área trincada, para avaliação do comportamento do pavimento ao longo do tempo.

Estes acompanhamentos estão sendo feitos em intervalos de tempo pré-definidos, a seguir expostos: após 1 mês da conclusão, 6 meses e daí a cada 6 meses até o ponto em que será considerado o final de vida do revestimento.

6. ENTIDADE OU EQUIPE EXECUTORA

• IDENTIFICAÇÃO DAS ENTIDADES

A empresa que está coordenando os serviços é a empresa PAULISTA INFRA-ESTRUTURA LTDA associada com o LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DE PAVIMENTAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTE DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP, e com as empresas DYNATEST ENGENHARIA LTDA e JMCHAVES CONSULTORIA LTDA.

- COORDENADORES DO PROJETO

Coordenador Geral: José Mário Chaves

Coordenador Técnico: Edson de Moura

Coordenador Laboratório da Paulista Infra-estrutura: Vagner Alba

Assessoramento Técnico: Liédi Bariani

Ernesto Simões Preussler

André Vale

7. PRODUTO

7.1 APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO FINAL

A Paulista Infra Estrutura Ltda apresenta neste relatório final do mês de março de 2011, consolidando todas as atividades desenvolvidas ao longo desta pesquisa de “EXECUÇÃO DE UMA CAMADA DELGADA A FRIO COMO REDUTORA DA REFLEXÃO DE TRINCAS”.

São apresentados desde os projetos de Micro Revestimento Asfáltico a Frio para as camadas de 8 mm; 12 mm; 18 mm e camada de bloqueio; além dos resultados dos ensaios em amostras coletadas durante a execução da camada delgada a frio.

Também são apresentados os resultados das campanhas de monitoramento dos pavimentos e os estudos de desempenho de pavimentos dos trechos experimentais que consolidam esta etapa de acompanhamento de seções-teste.

Por fim são apresentadas as conclusões da pesquisa a partir da análise crítica dos resultados.

7.2 ANTECEDENTES

A manutenção preventiva e as técnicas de reabilitação superficial permitem a preservação e a melhora das condições funcionais com custo inicial relativamente baixo e, em geral, ganho no desempenho do pavimento. Essas técnicas devem ser consideradas por gerentes e engenheiros na seleção da estratégia de manutenção, contemplando-se tanto as restrições orçamentárias como os critérios de desempenho de projeto.

Há distintas técnicas usualmente praticadas na manutenção preventiva e na reabilitação superficial de pavimentos asfálticos, desde os reparos localizados e as selagens de trincas até a execução de camadas delgadas de concreto asfáltico denso ou aberto, bem como as lamas asfálticas. Uma promissora tecnologia, o micro revestimento asfáltico a frio, vem sendo utilizado em diversos países como uma técnica de reabilitação superficial para pavimentos asfálticos, apresentando destaque no meio rodoviário nacional desde meados da década de 1990.

O micro revestimento é uma mistura composta de emulsão asfáltica modificada por polímero, 100% de agregado britado, fíler mineral, água e agentes controladores de campo – acrescidos quando necessários. Adequadamente projetada e aplicada, essa técnica tem mostrado bons resultados na melhora das características de aderência e no preenchimento de trilhas de roda, impermeabilização e pequena correção de irregularidade, tanto em rodovias de baixo volume de tráfego quanto nas de alto volume. O micro revestimento asfáltico também tem sido utilizado na selagem do revestimento de superfícies oxidadas e desgastadas.

A experiência brasileira tem se concentrado no emprego do micro revestimento asfáltico como “camada selante, impermeabilizante e rejuvenescedora ou mesmo como camada antiderrapante de pavimentos” (DNER-ES 389/99, 1999), bem como no retardamento do processo de reflexão de trincas, seja como camada final ou como camada intermediária – empregos não citados na referida norma.

No início da concessão da rodovia BR-381 Rodovia Fernão Dias, entre Belo Horizonte e São Paulo, datado de fevereiro de 2008, a equipe técnica da concessionária se deparou com o desafio de recuperar e manter um pavimento que em diversos locais se encontrava extremamente deteriorado, com a ocorrência de trincamento interligado erodido (trincas classe 3), como ilustrado nas figuras a seguir.



Figura 7.1 – Condição dos Pavimentos no Início da Concessão

7.3 INTRODUÇÃO E CONCEITUAÇÃO

O micro revestimento é uma mistura composta de emulsão asfáltica modificada por polímero, 100% de agregado britado, fíler mineral, água e agentes controladores de campo – acrescidos quando necessários (ISSA A143, 2001). Adequadamente projetada e aplicada, essa técnica tem mostrado bons resultados na melhora das características de aderência e no preenchimento de trilhas de roda, impermeabilização e pequena correção de irregularidade, tanto em rodovias de baixo volume de tráfego quanto nas de alto volume. O micro revestimento asfáltico também tem sido utilizado na selagem do revestimento de superfícies oxidadas e desgastadas.

Os resultados de desempenho não têm sido devidamente organizados e divulgados, mas em geral são encorajadores para estes tipos de aplicação por períodos de 4 a 7 anos. O uso em pavimentos de Concreto Cimento Portland (PCC) e em obras-de-arte especiais é relativamente limitado, mas também satisfatório em muitos casos. (FHWA, 1994)

Destaca-se a importância da compilação e tratamento dos resultados obtidos em distintos pavimentos, de forma a subsidiar os profissionais da área na consideração do micro revestimento asfáltico a frio como opção de reabilitação superficial, técnica e economicamente, para um dado projeto. Isso requer a minuciosa compreensão das limitações do desempenho e dos custos de cada uma das estratégias viáveis. Infelizmente, as informações de pesquisas e aplicações atuais são frequentemente dispersas e/ou incompletas, não estando prontamente disponíveis aos projetistas e empreendedores. Este tipo de atividade foi também enfoque da presente pesquisa.

7.3.1 Definição

Define-se o micro revestimento asfáltico a frio como sendo “a associação de agregado, material de enchimento (fíler), emulsão asfáltica modificada por polímero do tipo SBS, água, aditivos se necessários, com consistência fluida, uniformemente espalhada sobre uma superfície previamente preparada” (DNER-ES 389/99, 1999). Neste ponto cabe destacar a restrição quanto ao tipo de polímero a ser utilizado na modificação do ligante asfáltico na norma nacional em questão, não explícita nas demais referências pesquisadas tanto no cenário nacional quanto no internacional.

Segundo a ISSA (2001), o micro revestimento a frio consiste na mistura de emulsão asfáltica modificada por polímero, 100% de agregado britado, fíler mineral, água e aditivos e agentes controladores (quando necessários).

Da interpretação das definições anteriores tem-se que o micro revestimento asfáltico a frio é basicamente um tipo de lama asfáltica com ligante asfáltico modificado por polímero e agregado de boa qualidade estrutural. Embora as lamas asfálticas sejam executadas com espessura de apenas uma vez meia a dimensão do maior agregado da mistura (devido ao elevado teor de resíduo asfáltico), os micro revestimentos podem ser aplicados com espessuras maiores em camadas relativamente espessas, em virtude da grande estabilidade da mistura. Comparado às misturas a quente, o micro revestimento tem a vantagem de ser confeccionado e aplicado à temperatura ambiente, visto que as emulsões “rompem” e “endurecem” por processo eletroquímico e perda de água.

Nos Estados Unidos e na Europa as aplicações mais comuns do micro revestimento asfáltico são a impermeabilização e selagem de trincas, a texturização da superfície e o preenchimento de trilhas de roda de pavimentos flexíveis. Há também exemplos de utilização na correção de desgaste, como camada de nivelamento, como camada intermediária (de retardamento ao processo de reflexão de trincas) e no preenchimento de painéis (desde que estas sejam pequenas e superficiais). Além disso, existem as aplicações em pavimentos de concreto e tabuleiros de pontes e viadutos, para a recuperação da resistência a derrapagem da via ou preenchimento de depressões (FHWA, 1994).

De maneira geral tem-se que o micro revestimento é utilizado como camada de selagem de superfície para estabelecer adequada resistência à derrapagem (aderência pneu-pavimento), preenchimento de trilhas de roda e pequenas depressões em pavimentos de concreto, reduzir o desgaste e o polimento em pavimentos asfálticos e como camada de rolamento em superfícies de pontes ou viadutos (SMITH; BEATTY, 1999).

A experiência brasileira tem se concentrado no emprego do micro revestimento asfáltico como “camada selante, impermeabilizante e rejuvenescedora ou mesmo como camada antiderrapante de pavimentos” (DNER-ES 389/99, 1999), bem como no retardamento do processo de reflexão de trincas, seja como camada final ou como camada intermediária – empregos não citados na referida norma (CAMPOS; SILVA, 2002).

7.3.2 Histórico

O micro revestimento asfáltico foi desenvolvido na Europa, onde é geralmente denominado micro concreto asfáltico. Na Alemanha, no final da década de 1960 e início da de 1970, pesquisadores iniciaram experimentos com lama asfáltica convencional para encontrar um material para o preenchimento de trilhas de roda nas autobahnen (do alemão: rodovias de grande volume de tráfego) cuja aplicação fosse possível em espessuras maiores e larguras menores. Estes estudos chegaram a uma mistura de agregados especialmente selecionados e cimento asfáltico em que se incorporaram polímeros e emulsificantes que garantiam a estabilidade da mesma quando aplicada em múltiplas camadas, denominada de micro revestimento (PROCEEDINGS OF THE 29TH ANNUAL CONVENTION INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION, 1991).

Em meados dos anos 1970, Screg Route, empresa francesa, projetou um material que atuaria como uma “cola selante”, um micro concreto asfáltico, que, em seguida, foi aperfeiçoado pela empresa alemã Rasching. Esse produto foi então colocado no mercado americano sob o nome de “Ralumac” no início da década seguinte. No final dos anos 1980, a empresa espanhola Elsamex também desenvolveu e disponibilizou no mercado americano o seu micro revestimento asfáltico sob o nome de “Macroseal”. Hoje em dia diversos outros nomes estão disponíveis no mercado, com diversas aplicações em todo o mundo. (FHWA, 1994)

O primeiro uso do micro revestimento nos Estados Unidos se deu no Estado do Kansas, no ano de 1980. Desde então se difundiu por diversas agências na reabilitação funcional de pavimentos em rodovias de volumes de tráfego médio e alto, ou seja, de volumes de tráfego entre 500 e 5.000 veículos por dia por faixa de tráfego e superiores a 5.000, respectivamente, bem como rodovias de tráfego pesado (mais de 5×10^5 operações anuais equivalentes do eixo simples de roda dupla de 8,2 tf por faixa, determinadas em conformidade com a metodologia da AASHTO). Nos Estados Unidos seu maior uso tem se dado nos estados do Kansas, Ohio, Oklahoma, Pennsylvania, Tennessee, Texas e Virginia. (FHWA, 1994)

No Brasil, os primeiros estudos de asfalto-polímero foram iniciados em 1968, com a adição de látex SBR (polímero estireno-butadieno) no ligante. Posteriormente foram executados estudos e trechos experimentais, contudo sem o monitoramento adequado. Tais experimentos foram precursores na aplicação de misturas delgadas e ultradelgadas de elevado desempenho no cenário nacional, citando-se o trecho de lama asfáltica com SBR aplicada na Ponte Rio-Niterói (BR-101/RJ). (DNER, 1998b)

A primeira experiência devidamente monitorada de micro revestimento asfáltico a frio em rodovia de intenso volume de tráfego data de 1997, quando foi executado o trecho experimental na rodovia Presidente Dutra (BR-116/SP), tendo ganhado destaque e passando a ser utilizado em larga escala nos anos seguintes.

As boas condições estruturais dos pavimentos das concessionárias rodoviárias paulistas associadas ao alto volume de tráfego das vias e à necessidade de reabilitação superficial imediata impulsionaram a aplicação do micro revestimento asfáltico a frio, contabilizando 15.000.000 m² entre os anos de 1998 e 2002 – equivalente a mais de 4.100 km de faixa (CAMPOS; SILVA, 2002).

Seu emprego continuou ganhando espaço no cenário rodoviário nacional ao longo da última década, incluindo-se a aplicação em obras em todas as regiões do país e a normatização por órgãos estaduais de transportes.

Não obstante o grupo OHL tem utilizado o micro revestimento asfáltico a frio como técnica de reabilitação de pavimentos em rodovias concedidas no interior paulista desde o início do ano 2000. Com as novas concessões federais que se iniciaram em 2007 este tipo de técnica já era de amplo conhecimento dos técnicos do grupo envolvidos em projeto e acompanhamento de obras, contudo a situação dos pavimentos observada nas novas rodovias federais a serem reabilitadas era bastante distinta, com um grau de trincamento severo e uma incidência maior, associada à necessidade de revitalização de forma praticamente “imediate”.

Neste enfoque o emprego de micro revestimento asfáltico a frio foi adotado como solução de recuperação para os pavimentos trincados, prevendo-se algumas “customizações” com vistas à otimização dos resultados. Dentre as particularizações adotadas estão alterações nas espessuras finais de micro revestimento (com incremento da mesma em relação à prática corrente no grupo) e o emprego de uma camada de bloqueio, empregando granulometria mais fina e uma dosagem mais rica em ligante asfáltico.

Mesmo com o destaque deste tipo de solução de recuperação nas obras nacionais nos últimos 15 anos as experiências monitoradas de acompanhamento detalhado do desempenho de pistas experimentais de micro revestimento asfáltico a frio e a realização de estudos comparativos que permitam conhecer o qual a melhor técnica se utilizar caso a caso ainda são restritos. Assim a eficácia dos procedimentos e particularizações adotados pela OHL nas obras dos trabalhos iniciais será um dos objetivos da presente pesquisa.

7.4 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é avaliar a vida útil da solução de micro revestimento a frio, com distintas técnicas executivas e teores asfálticos, como película redutora de reflexão de trincas, visando reduzir custos de investimentos em recuperação da rodovia.

Para tanto estão sendo verificados os comportamentos de distintas camadas de micro revestimento considerando as diferentes condições existentes na camada subjacente, desde pavimentos totalmente trincados (trincas classe FC-3) até outros com trincas leves (trincas classe FC-1).

Observa-se que a técnica de recuperação empregada é micro revestimento a frio com emulsões polimerizadas, atendendo a especificações particulares quanto ao projeto da mistura do ligante. A opção pela execução de misturas a frio com emulsão modificada por polímero se deu em função de sua flexibilidade.

7.5 ORGANIZAÇÃO DOS TRABALHOS

As questões a serem respondidas por esta pesquisa são basicamente as seguintes:

- A espessura do micro revestimento asfáltico a frio influencia o desempenho final da restauração do pavimento?
- O emprego de “Camada de Bloqueio” preliminar a execução do micro revestimento asfáltico propriamente dito é efetivo ou não?

- Quais os efeitos da alteração no teor residual de ligante asfáltico modificado por polímero aplicado?

Tendo uma rodovia extensa, cujo pavimento apresenta-se oxidado e trincado, a ser restaurada num horizonte de cinco anos e tendo em vista as questões apresentadas foi elaborado um programa de pesquisa com a execução de trechos experimentais de micro revestimento asfáltico executados com distintas espessuras (8, 12 e 18 mm), precedidos ou não de camada de bloqueio, ora em seu teor ótimo ora com taxa de resíduo asfáltico 0,6% abaixo do ponto ótimo.

As distintas soluções em questão foram empregadas em seções-teste no trecho paulista da rodovia BR-381, onde há a maior concentração de tráfego, tanto em segmentos na região de serra quanto sem segmentos na região de planalto.

A seleção exata destes locais buscou abranger no processo de escolha das seções-teste diferentes segmentos também no que se refere ao grau de trincamento e ao nível de deflexões existentes previamente as obras de recuperação.

Em seguida foram elaborados os projetos de mistura a serem empregadas em pista, já com utilização dos materiais selecionados para a obra, ou seja, foram realizadas dosagens da camada de bloqueio e de micro revestimento em distintas faixas granulométricas para se atingir as espessuras finais previstas.

A etapa seguinte consistiu na execução das obras de recuperação dos pavimentos seguida das campanhas de levantamentos periódicos dos parâmetros técnicos relevantes, principalmente o que refere ao percentual de área trincada, o índice de defeitos e a irregularidade longitudinal, para avaliar o comportamento ao longo do tempo. Estes acompanhamentos foram realizados em intervalos de tempo pré-definidos até o ponto em que será considerado o final de vida do revestimento ou de se ter uma linha de tendência para cada situação em estudo.

7.6 DEFINIÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL

A seleção do trecho experimental buscou identificar trechos homogêneos com o pavimento muito deteriorado e que no final de 2007 ainda não tivesse recebido qualquer tipo de intervenção de vulto desde o início da concessão, apresentando trincamento em distintas severidades e com geometria variável e sujeito a elevada solicitação de tráfego, totalizando aproximadamente 15 km de faixa.

Tais condições são importantes para verificar a adequabilidade do micro revestimento asfáltico a frio como técnica de manutenção para a recuperação dos pavimentos da Fernão Dias e estudar eventuais ajustes que podem ser realizados para a escolha do tipo de micro revestimento a ser empregado (granulometria, teores e técnica executiva).

Com isso foram selecionados quatro segmentos homogêneos, tanto em aclave e declive quanto em trechos planos, sem nenhum tipo de intervenção pela Concessionária Autopista Fernão Dias até a execução do trecho experimental, com extensão suficiente e características similares em sequência para o mesmo tipo de tráfego, o que permitirá a comparação do desempenho das distintas soluções de recuperação em análise.

O segmento em estudo está localizado na BR-381, próximo a Mairiporã e definido em função do estado de superfície, caracterizando situações críticas de trincamento do revestimento existente. Os trechos são:

- Entre o km 62+600 e 64+600 pista norte e entre o km 61+400 e 63+400 e pista sul;
- Entre o km 57+000 e 58+000 pista norte e entre o km 56+700 e 58+200 pista sul.

Foram definidos os procedimentos de execução da mistura a frio, divididas em 3 camadas:

- A primeira camada, chamada de “bloqueio” é uma mistura de granulometria fina (Faixa 2 da especificação da ISSA) com teor de emulsão em torno de 12%. Esta camada tem uma espessura média de 6 mm e seu objetivo é preencher os vazios das trincas, reduzir o movimento das placas e impermeabilizar a plataforma.
- A segunda camada, de granulometria mais grossa (Faixa 4 da especificação da ISSA) é também mais pobre em asfalto, com teores de emulsão em torno de 10%. Esta camada visa corrigir as irregularidades existentes na pista de rolamento.
- A terceira camada, final, de granulometria média (Faixa 3 da especificação da ISSA) foi usada para o acabamento da pista. Os teores usados giraram em torno de 10,5%.

A espessura final das duas últimas camadas é, em média, dependendo do segmento onde foi aplicado, de 8mm, 12 mm e 18 mm.

A figura a seguir apresenta as faixas granulométricas empregadas no presente estudo.

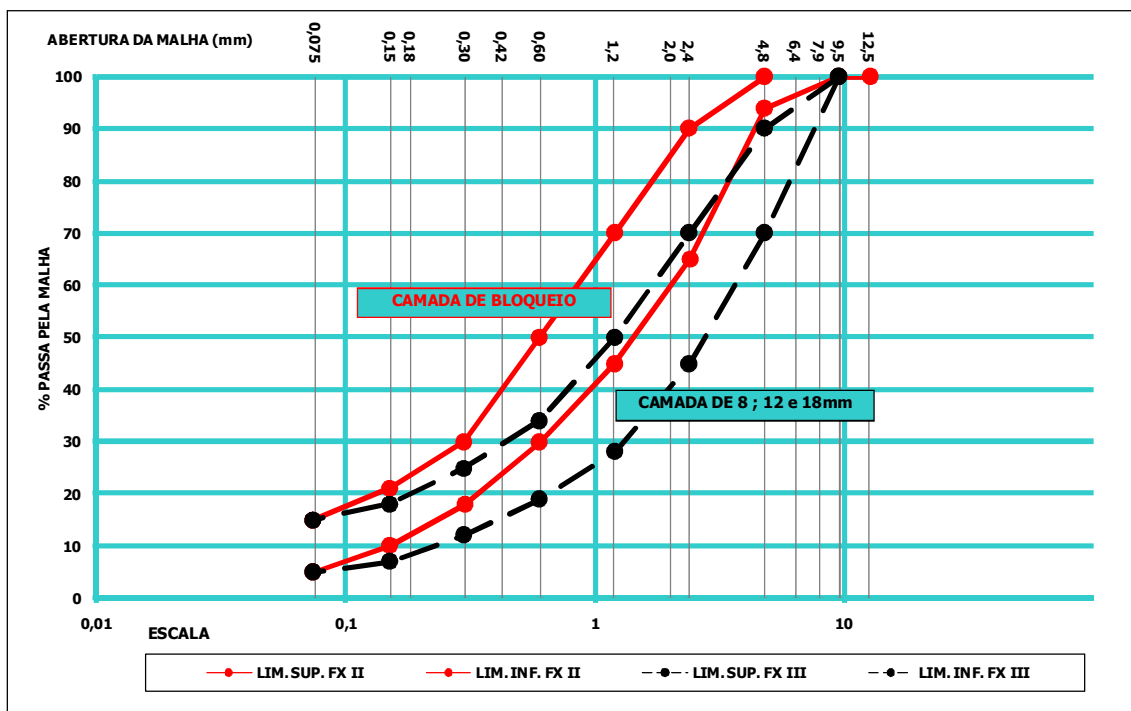


Figura 7.2 – Faixas Granulométricas Empregadas

7.6.1 Condições Originais

Considerando-se as características previamente apresentadas, a seleção do segmento para a execução do trecho experimental de micro revestimento asfáltico a frio na rodovia BR-381 Fernão Dias teve como princípio o atendimento à condição típica de aplicação deste tipo de material de acordo com referências internacionais, contemplando-se também a solicitação por grande volume de tráfego pesado.

Apresenta-se a seguir as condições dos trechos antes das obras de recuperação.

7.6.1.2 Tráfego

Procedeu-se então com o estudo de tráfego para os trechos em questão de forma a se quantificar o tráfego solicitante para um horizonte de 10 anos. O estudo de tráfego é uma das etapas mais importantes no desenvolvimento de um projeto de restauração rodoviária, objetivando que as soluções a serem adotadas sejam estruturalmente adequadas às solicitações previstas. As atividades desenvolvidas para este fim encontram-se citadas abaixo.

- ☒ Volume Médio Diário de Tráfego;
- ☒ Projeção do Tráfego;
- ☒ Cálculo do Numero “N”.

Para efeito de estudo, o tráfego de veículos pesados foi convertido em operações do eixo padrão rodoviário, número “N”, conforme as recomendações dos métodos de dimensionamento de pavimentos novos ou de reforço de estrutura do DNER.

As tabelas a seguir sintetizam o estudo de tráfego para os trechos em questão para ambos os sentidos de tráfego (pista norte e sul).



Calculo do Numero "N" de Operações Equivalentes de Tráfego						
Rodovia:BR 381 - Fernão Dias Sentido:Pista Norte Segmento:km 65,7						
Taxa de Crescimento			3%		Fator de Veículo	
Fator Direcional			0,95		AASHTO	3,7
Fator Climático			1,0		USACE	7,9
VDM comercial			7.619			
Ano		VDMc	N AASHTO		N USACE	
			Ano	Acum.	Ano	Acum.
AE	2009	7619	9,67E+06		2,08E+07	
1	2010	7847	9,96E+06	9,96E+06	2,14E+07	2,14E+07
2	2011	8083	1,03E+07	2,02E+07	2,21E+07	4,35E+07
3	2012	8325	1,06E+07	3,08E+07	2,27E+07	6,62E+07
4	2013	8575	1,09E+07	4,17E+07	2,34E+07	8,96E+07
5	2014	8832	1,12E+07	5,29E+07	2,41E+07	1,14E+08
6	2015	9097	1,15E+07	6,44E+07	2,48E+07	1,39E+08
7	2016	9370	1,19E+07	7,63E+07	2,56E+07	1,64E+08
8	2017	9651	1,23E+07	8,86E+07	2,63E+07	1,90E+08
9	2018	9941	1,26E+07	1,01E+08	2,71E+07	2,18E+08
10	2019	10239	1,30E+07	1,14E+08	2,79E+07	2,46E+08
Total			N _{aashto}	1,14E+08	N _{usace}	2,46E+08

Calculo do Numero "N" de Operações Equivalentes de Tráfego						
Rodovia: BR 381 - Fernão Dias Sentido: Pista Sul Segmento: km 65,7						
Taxa de Crescimento		3%		Fator de Veículo		
Fator Direcional		0,95		AASHTO	3,7	
Fator Climático		1,0		USACE	7,9	
VDM comercial		6.757				
Ano		VDMc	N AASHTO		N USACE	
			Ano	Acum.	Ano	Acum.
AE	2009	6757	8,58E+06		1,84E+07	
1	2010	6959	8,83E+06	8,83E+06	1,90E+07	1,90E+07
2	2011	7168	9,10E+06	1,79E+07	1,96E+07	3,86E+07
3	2012	7383	9,37E+06	2,73E+07	2,02E+07	5,87E+07
4	2013	7605	9,65E+06	3,70E+07	2,08E+07	7,95E+07
5	2014	7833	9,94E+06	4,69E+07	2,14E+07	1,01E+08
6	2015	8068	1,02E+07	5,71E+07	2,20E+07	1,23E+08
7	2016	8310	1,05E+07	6,77E+07	2,27E+07	1,46E+08
8	2017	8559	1,09E+07	7,86E+07	2,34E+07	1,69E+08
9	2018	8816	1,12E+07	8,97E+07	2,41E+07	1,93E+08
10	2019	9080	1,15E+07	1,01E+08	2,48E+07	2,18E+08
Total			N _{aashto}	1,01E+08	N _{usace}	2,18E+08

Salienta-se que os valores do Número N apresentados foram calculados para a faixa mais solicitada de tráfego de cada sentido de tráfego, a partir de dados de contagens de tráfego disponibilizados pela concessionária.

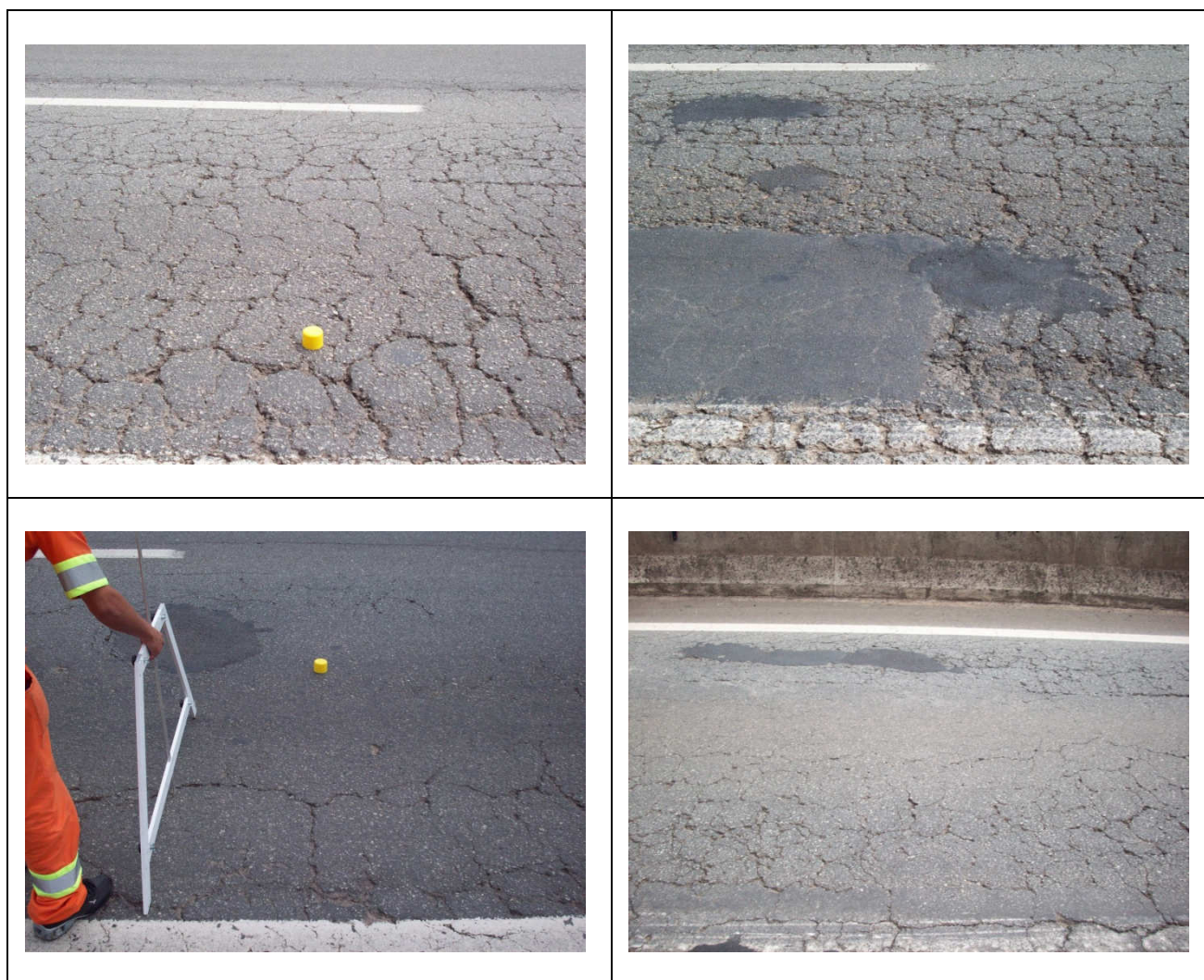
Para a adequação dos pavimentos em termos de deflexão recuperável sob a ação da carga utiliza-se a equação de fadiga proposta na norma rodoviária DNER-PRO 269/94, cujo modelo é expresso pela equação a seguir:

$$\log N = 3,148 - 0,188 \log D_{adm}$$

Tendo em vista o número N calculado em conformidade com a metodologia do Corpo dos Engenheiros do Exército Americano (USACE) igual a $2,46 \times 10^8$ para a pista norte e $2,18 \times 10^8$ para a pista sul para um período de 10 anos, tem-se, por este modelo, que a deflexão admissível (D_{adm}) para os pavimentos em questão é igual a 37×10^{-2} mm e 38×10^{-2} mm para as pistas norte e sul, respectivamente.

7.6.1.2 Condições de Superfície

A faixa externa de tráfego dos trechos selecionados (faixa adjacente ao acostamento, mais solicitada pelo tráfego de veículos de carga) apresentava trincas classe 1, 2 e 3 (de acordo com a terminologia do DNER) e elevado nível de desgaste, ao passo que as faixas internas encontravam-se fissuradas e também com elevado nível de desgaste conforme ilustrado nas figuras abaixo.



7.7 ESTUDOS DOS PROJETOS DE MISTURA

A boa qualidade dos materiais é importante para o adequado desempenho do micro revestimento, fato notório em qualquer mistura de materiais de pavimentação. Entretanto, materiais de boa qualidade não necessariamente asseguram que o traço de micro revestimento seja adequado, pois os mesmos podem ser incompatíveis entre si na mistura.

Assim, o presente capítulo encontra-se subdividido em duas partes: a primeira em que são conceituados os materiais constituintes e a segunda em que se apresentam os procedimentos de dosagem para definição de seus teores ótimos a serem aplicados na mistura.

Neste procedimento o teor ótimo de resíduo asfáltico é obtido graficamente pela combinação dos resultados do ensaio ISSA-TB 100 Wet Track Abrasion Test (WTAT) – Método de ensaio para abrasão por via úmida - e o ISSA-TB 109 Loaded Wheel Test and Sand Adhesion (LWT) – Excesso de asfalto por LWT e adesão de areia.

Devem ser moldados corpos de prova com distintos teores de resíduo asfáltico para cada um dos ensaios citados anteriormente. Os ensaios de abrasão são realizados para se determinar o teor mínimo necessário na mistura e o de excesso de asfalto para se determinar o teor máximo.

Com os resultados dos ensaios é elaborado um único gráfico contendo as duas curvas obtidas, determinando-se a faixa de tolerância em função das especificações de cada órgão e da faixa de trabalho proposta, em função dos resultados obtidos, de forma a se garantir o atendimento das especificações vigentes.

Destaca-se que, em geral, as especificações rodoviárias limitam o teor residual de asfalto, de forma a se evitar a elaboração de projetos de mistura com variações excessivas de ligante.

7.6.1. ISSA-TB 100 Wet Track Abrasion Test (WTAT) – Método de ensaio para abrasão por via úmida

O ensaio ISSA-TB 100 Wet Track Abrasion Test determina a resistência à abrasão das misturas de micro revestimento, simulando condições abrasivas úmidas, tais como o acionamento dos freios ou manobras.

No ensaio, ilustrado na figura 7.3, cada amostra curada de 6 mm de espessura e 280 mm de diâmetro, após a pesagem, é imersa por período de uma hora em água a 25°C e desgastada pela ação rotativa de um peso de 2,3 kg durante 5 minutos. Esta amostra é então seca a 60°C e pesada.



Figura 7.3 – Equipamento de ensaio para abrasão por via úmida

A ação do peso sobre a amostra implica no desgaste do micro revestimento e na conseqüente perda de material, o que pode ser determinado pela diferença de peso do corpo de prova antes e após o ensaio.

A máxima perda de peso admitida pela ISSA (2001) e pela ABNT (2001) é de 538g/m², ou seja, o teor de resíduo asfáltico que resulta neste valor é considerado o teor mínimo de ligante. Observa-se neste ponto que segundo a especificação do DNER (1999) indica um valor máximo de 500g/m².

Destaca-se que em casos excepcionais são realizados ensaios em corpos após 6 dias de imersão, sendo então tolerados valores de até 807kg/m², em virtude de se tratar de uma situação mais crítica de ensaio.

7.6.2. ISSA-TB 109 *Loaded Wheel Test and Sand Adhesion (LWT)* – Excesso de asfalto por LWT e adesão de areia

O ensaio ISSA-TB 109 Loaded Wheel Test and Sand Adhesion é realizado para determinar o teor máximo de resíduo asfáltico da mistura, seja de micro revestimento ou de lama asfáltica, a fim de que não ocorra a exsudação do ligante.

Este ensaio, ilustrado na figura 7.4, consiste na medição da quantidade de areia fina que é aderida na amostra após a ação do carregamento de roda padronizado. Quanto maior a quantidade de areia aderida no corpo de prova, maior é o grau de exsudação da mistura.



Figura 7.4 – Ensaio de excesso de asfalto por LWT e adesão de areia

Molda-se um corpo de prova de 50 mm de largura e 375 mm de comprimento com a espessura de projeto (em geral 25% acima da dimensão máxima do agregado). O mesmo é fixado no prato de montagem e compactado com 1000 ciclos de 57 kg a 25°C (sendo que os ciclos se dão em uma única linha). Ao final da compactação a amostra é lavada, seca a 60°C e pesada. Uma quantidade conhecida de areia é então lançada sobre a amostra e o ciclo de compactação é repetido. A amostra é novamente removida e pesada. A taxa de peso acrescida é a adesão de areia verificada.

A adesão máxima especificada é de 538g/m² para aplicação em vias de tráfego pesado (DNER-ES 389/99, 1999) (ABNT, 2001) (ISSA A143, 2001).

7.6.3. Ensaio de Coesão (ISSA-TB-139)

O teste de coesão é utilizado para classificar o micro revestimento pelo tempo de ruptura e de tráfego. Este é um teste de força em que se determina o torque requerido para a rotação de um pistão de 32 mm de diâmetro (cujo pé é revestido de borracha) carregado a 200kPa sobre um corpo de prova de 8 mm de espessura (ou 6 mm) por 60 mm de diâmetro. As leituras são realizadas em equipamentos similares ao da figura 7.5 a intervalos de 20, 30, 60, 90, 150, 210 e 270 minutos após o lançamento.



Figura 7.5 – Ensaio de coesão

Uma mistura de ruptura rápida atinge valores de 1,2 Nm de torque em um período de 20 a 30 minutos. De modo similar, uma mistura de pequeno tempo de tráfego, ou seja, cuja liberação do tráfego após a execução se dá em pouco tempo, atinge valores de 1,96 Nm em 60 minutos.

O valor de torque igual a 1,2 Nm é considerado o ponto em que a mistura é resistente à água e não pode ser remodelada sendo, portanto, este o limite de trabalhabilidade da mistura. Valores de 1,96Nm indicam coesão suficiente para suportar a ação do tráfego, sendo este torque associado à resistência requerida para a liberação do micro revestimento à operação de veículos (FHWA, 1994).

O micro revestimento asfáltico a frio é de ruptura rápida e de quase imediata liberação para o tráfego, normalmente em uma hora quando aplicado com 12,7 mm a temperatura ambiente de 24º C e 50% de umidade relativa do ar (ISSA A143, 2001).

Esse tipo de teste também permite a determinação do teor ótimo de fíler mineral através de ensaios com distintos teores do fíler para a verificação do ponto de coesão máxima (teor ótimo). O formato da curva também permite a verificação da sensibilidade da mistura ao fíler, permitindo a definição da faixa de trabalho aceitável.

7.6.4. Resumo dos Projetos de Mistura

Os projetos de mistura são apresentados a seguir para a camada de bloqueio, micro de 8 e 12mm e micro de 18mm:



CLIENTE: CONCESSIONÁRIA AUTOPISTA FERNÃO DIAS
OBRA: RODOVIA FERNÃO DIAS BR381
CONSTRUTORA: GARCIA & MONTEIRO LTDA
SERVIÇO: RECUPERAÇÃO DA RODOVIA FERNÃO DIAS TRECHO SÃO PAULO - GUARULHOS
PROJETO DE MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO
RELATÓRIO TÉCNICO 0027-08
FAIXA II ESPECIFICAÇÃO OHL - CAMADA DE BLOQUEIO

RESUMO DO PROJETO

COMPOSIÇÃO DA MISTURA		SECA	
ORIGEM DO MATERIAL	MATERIAL	(%)	
Pedreira Cantareira	PÓ DE PEDRA	99,0%	CALCULADOS SOBRE O PESO DA MISTURA DE AGREGADOS SECOS
Diversos	CAL CH-1	1,0%	
-	-	0,0%	
-	-	0,0%	
NTA - Novas Técnicas de Asfaltos S/A	POLIFLEX NTA SRC	7,0%	
NTA - Novas Técnicas de Asfaltos S/A	ADITIVO NTA AR-20 (Se necessário)	0,5%	
	Água de molhagem	10,0%	
	TOTAL	100,0%	

GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS COMBINADOS

PENEIRA	(mm)	OBTIDO	FAIXA DE TRABALHO		LIMITES	ESPECIFICAÇÃO	
1/2"	12,70	100,0	100,0	100,0	-	100	100
3/8"	9,52	100,0	100,0	100,0	-	100	100
Nº 4	4,76	98,0	93,0	103,0	± 5	90	100
Nº 8	2,38	75,8	70,8	80,8	± 5	65	90
Nº 16	1,19	60,3	55,3	65,3	± 5	45	70
Nº 30	0,59	45,8	40,8	50,8	± 5	30	50
Nº 50	0,30	29,8	25,8	33,8	± 4	18	30
Nº 100	0,15	20,5	17,5	23,5	± 3	10	21
Nº 200	0,07	13,7	11,7	15,7	± 2	5	15

ESPECIFICAÇÃO

Especificação particular para execução de micro concreto betuminoso a frio

OHL Brasil - revisão Agosto 2005

		MÍNIMO	MÁXIMO
VALORES ENCONTRADOS PARA TEOR ÓTIMO DE POLIFLEX SRC (RESÍDUO)	7,00%	6,70%	7,30%
PERDA POR ABRASÃO VIA ÚMIDA - WTAT (NBR 14746)	364,4 g/m ²	-	500
EXCESSO DE ASFALTO E ADESÃO DE AREIA - LWT (NBR 14841)	357,7 g/m ²	-	540
DIÂMETRO MÁXIMO PARA 80% DO MATERIAL PASSADO	4,6 mm	-	-
ADESIVIDADE DA MISTURA (NBR 14757)	100 %	90%	100%

RESULTADOS:

De acordo com os resultados obtidos, concluímos que:

- A porcentagem ótima de ligante residual será de 7,00 +/- 0,3% sobre o peso de agregados.
- A porcentagem ótima de emulsão deve ser calculada a partir da % de resíduo da emulsão obtida por evaporação (NBR 14376);
- A quantidade de água necessária para promover consistência adequada nesta composição será de 10,0%, admitindo-se valores maiores para compensar perdas por evaporação devido a elevação de temperatura na pista e agregados.
- Os resultados se referem as amostras enviadas ao nosso laboratório, no caso de mudanças no material deverá ser feito um novo projeto.



CLIENTE: CONCESSIONÁRIA AUTOPISTA FERNÃO DIAS
OBRA: RODOVIA FERNÃO DIAS BR381
CONSTRUTORA: GARCIA & MONTEIRO LTDA
SERVIÇO: RECUPERAÇÃO DA RODOVIA FERNÃO DIAS TRECHO SÃO PAULO - GUARULHOS
PROJETO DE MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO
RELATÓRIO TÉCNICO 0029-08
FAIXA III ESPECIFICAÇÃO OHL - CAMADA DE 8 e 12mm

RESUMO DO PROJETO

COMPOSIÇÃO DA MISTURA		SÉCA	
ORIGEM DO MATERIAL	MATERIAL	(%)	
Pedreira Riúma	PÓ DE PEDRA	64,0%	CALCULADOS SOBRE O PESO DA MISTURA DE AGREGADOS SECOS
Pedreira Riúma	PEDRISCO FINO	35,0%	
Diversos	CAL CH-1	1,0%	
-	-	0,0%	
NTA - Novas Técnicas de Asfaltos S/A	POLIFLEX NTA SRC	5,9%	CALCULADOS SOBRE O PESO DA MISTURA DE AGREGADOS SECOS
NTA - Novas Técnicas de Asfaltos S/A	ADITIVO NTA AR-20 (Se necessário)	0,5%	
	Água de molhagem	10,0%	
	TOTAL	100,0%	

GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS COMBINADOS

PENEIRA	(mm)	OBTIDO	FAIXA DE TRABALHO		LIMITES	ESPECIFICAÇÃO	
1/2"	12,70	100,0	100,0	100,0	-	100	100
3/8"	9,52	100,0	100,0	100,0	-	100	100
Nº 4	4,76	84,8	79,8	89,8	± 5	70	90
Nº 8	2,38	52,7	47,7	57,7	± 5	45	70
Nº 16	1,19	32,1	27,1	37,1	± 5	28	50
Nº 30	0,59	22,5	17,5	27,5	± 5	19	34
Nº 50	0,30	15,0	11,0	19,0	± 4	12	25
Nº 100	0,15	10,4	7,4	13,4	± 3	7	18
Nº 200	0,07	7,2	5,2	9,2	± 2	5	15

ESPECIFICAÇÃO

Especificação particular para execução de micro concreto betuminoso a frio

OHL Brasil - revisão Agosto 2005		MÍNIMO	MÁXIMO
VALORES ENCONTRADOS PARA TEOR ÓTIMO DE POLIFLEX SRC (RESÍDUO)	5,90%	5,60%	6,20%
PERDA POR ABRASÃO VIA ÚMIDA - WTAT (NBR 14746)	339,7 g/m ²	-	500
EXCESSO DE ASFALTO E ADESÃO DE AREIA - LWT (NBR 14841)	748,0 g/m ²	-	540
DIÂMETRO MÁXIMO PARA 90% DO MATERIAL PASSADO	6,2 mm	-	-
ADESIVIDADE DA MISTURA (NBR 14757)	100 %	90%	100%

RESULTADOS:

De acordo com os resultados obtidos, concluímos que:

- A porcentagem ótima de ligante residual será de 5,9 +/- 0,3% sobre o peso de agregados.
- A porcentagem ótima de emulsão deve ser calculada a partir da % de resíduo da emulsão obtida por evaporação (NBR 14376);
- A quantidade de água necessária para promover consistência adequada nesta composição será de 9,0%, admitindo-se valores maiores para compensar perdas por evaporação devido a elevação de temperatura na pista e agregados.
- Os resultados se referem as amostras enviadas ao nosso laboratório, no caso de mudanças no material deverá ser feito um novo projeto.



CLIENTE: CONCESSIONÁRIA AUTOPISTA FERNÃO DIAS
OBRA: RODOVIA FERNÃO DIAS BR381
CONSTRUTORA: GARCIA & MONTEIRO LTDA
SERVIÇO: RECUPERAÇÃO DA RODOVIA FERNÃO DIAS TRECHO SÃO PAULO - GUARULHOS
PROJETO DE MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO
RELATÓRIO TÉCNICO 05-08
FAIXA III DNIT 035-05 ES - CAMADA DE 18mm

RESUMO DO PROJETO

COMPOSIÇÃO DA MISTURA			SÊCA	CALCULADOS SOBRE O PESO DA MISTURA DE AGREGADOS SECOS
ORIGEM DO MATERIAL	MATERIAL	(%)		
Pedreira Riúma	PEDRISCO FINO	30,0%		
Pedreira Cantareira	PÓ DE PEDRA	49,0%		
Pedreira Cantareira	PEDRISCO	20,0%		
Diversos	CAL CH-1	1,0%		
NTA - Novas Técnicas de Asfaltos S/A	POLIFLEX NTA RC	6,1%		
NTA - Novas Técnicas de Asfaltos S/A	ADITIVO NTA AR-20 (Se necessário)	0,5%		
	Água de molhagem	9,0%		
	TOTAL	100,0%		

GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS COMBINADOS

PENEIRA	(mm)	OBTIDO	FAIXA DE TRABALHO		LIMITES	ESPECIFICAÇÃO	
1/2"	12,70	100,0	100,0	100,0	-	100	100
3/8"	9,52	100,0	100,0	100,0	-	85	100
Nº 4	4,76	60,8	55,8	65,8	± 5	60	87
Nº 8	2,38	39,7	34,7	44,7	± 5	40	60
Nº 16	1,19	31,2	26,2	36,2	± 5	28	45
Nº 30	0,59	23,9	18,9	28,9	± 5	19	34
Nº 50	0,30	17,0	13,0	21,0	± 5	14	25
Nº 100	0,15	11,1	8,1	14,1	± 3	8	17
Nº 200	0,07	7,6	5,6	9,6	± 2	4	8

ESPECIFICAÇÃO

Pavimentos Flexíveis - Micro revestimento asfáltico frio com emulsão modificada por polímero				
Especificação de serviço DNIT 035/05 - ES			MÍNIMO	MÁXIMO
VALORES ENCONTRADOS PARA TEOR ÓTIMO DE POLIFLEX RC (RESÍDUO)			6,10%	5,80% 6,40%
PERDA POR ABRASÃO VIA ÚMIDA - WTAT (NBR 14746)			319,4 g/m²	- 500
EXCESSO DE ASFALTO E ADESÃO DE AREIA - LWT (NBR 14841)			311,7 g/m²	- 540
DIÂMETRO MÁXIMO PARA 80% DO MATERIAL PASSADO			8,0 mm	- -
ADESIVIDADE DA MISTURA (NBR 14757)			100 %	90% 100%

RESULTADOS:

De acordo com os resultados obtidos, concluímos que:

- A porcentagem ótima de ligante residual será de 6,1 +/- 0,3% sobre o peso de agregados.
- A porcentagem ótima de emulsão deve ser calculada a partir da % de resíduo da emulsão obtida por evaporação (NBR 14376);
- A quantidade de água necessária para promover consistência adequada nesta composição será de 9,0%, admitindo-se valores maiores para compensar perdas por evaporação devido a elevação de temperatura na pista e agregados.
- Os resultados se referem as amostras enviadas ao nosso laboratório, no caso de mudanças no material deverá ser feito um novo projeto.

7.8 EXECUÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL

A tabela a seguir apresenta o mapeamento dos segmentos executados, sendo que os teores asfálticos empregados foram determinados em conformidade com as especificações da ISSA e do DNIT conforme apresentado no item anterior.

Trecho	Pista	Pista	km		Estaca		Ext. (km)	Faixas (nº)	Ext. fx. (km)	Definição	Resumo		Teor Residual	
			início	fim	início	fim					Bloq.	Micro	Bloqueio	Normal
1	Norte	1	62,60	62,85	2,00	1,75	0,25	3	0,75	Micro de 12 mm		12		6,2%
		2	62,85	63,10	1,75	1,50	0,25	3	0,75	Micro de 12 mm		12		5,6%
		3	63,10	63,35	1,50	1,25	0,25	3	0,75	Camada de bloqueio e micro de 8 mm	x	8	7,5%	6,2%
		4	63,35	63,60	1,25	1,00	0,25	3	0,75	Camada de bloqueio e micro de 8 mm	x	8	7,5%	5,6%
		5	63,60	63,85	1,00	0,75	0,25	3	0,75	Camada de bloqueio e micro de 12 mm	x	12	7,5%	6,2%
		6	63,85	64,10	0,75	0,50	0,25	3	0,75	Camada de bloqueio e micro de 12 mm	x	12	7,5%	5,6%
		7	64,10	64,35	0,50	0,25	0,25	3	0,75	Camada de bloqueio e micro de 18 mm	x	18	7,5%	6,2%
		8	64,35	64,60	0,25	0,00	0,25	3	0,75	Camada de bloqueio e micro de 18 mm	x	18	7,5%	5,6%
	Sul	1	61,40	61,65	0,00	0,25	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 18 mm	x	18	7,5%	5,3%
		2	61,65	61,90	0,25	0,50	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 18 mm	x	18	7,5%	5,9%
		3	61,90	62,15	0,50	0,75	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 12 mm	x	12	7,5%	5,6%
		4	62,15	62,40	0,75	1,00	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 12 mm	x	12	7,5%	6,2%
		5	62,40	62,65	1,00	1,25	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 8 mm	x	8	7,5%	5,6%
		6	62,65	62,90	1,25	1,50	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 8 mm	x	8	7,5%	6,2%
		7	62,90	63,15	1,50	1,75	0,25	2	0,50	Micro de 12 mm		12		5,6%
		8	63,15	63,40	1,75	2,00	0,25	2	0,50	Micro de 12 mm		12		6,2%
2	Norte	1	57,00	57,25	1,00	0,75	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 8 mm	x	8	7,5%	6,2%
		2	57,25	57,50	0,75	0,50	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 8 mm	x	8	7,5%	5,6%
		3	57,50	57,75	0,50	0,25	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 8 mm	x	8	7,5%	6,2%
		4	57,75	58,00	0,25	0,00	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 8 mm	x	8	7,5%	5,6%
	Sul	1	56,70	56,95	0,00	0,25	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 12 mm	x	12	7,5%	5,6%
		2	56,95	57,20	0,25	0,50	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 12 mm	x	12	7,5%	6,2%
		3	57,20	57,45	0,50	0,75	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 12 mm	x	12	7,5%	5,6%
		4	57,45	57,70	0,75	1,00	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 12 mm	x	12	7,5%	6,2%
		5	57,70	57,95	1,00	1,25	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 12 mm	x	12	7,5%	5,6%
		6	57,95	58,20	1,25	1,50	0,25	2	0,50	Camada de bloqueio e micro de 12 mm	x	12	7,5%	6,2%

A figura a seguir ilustra a condição do pavimento após a execução das obras de recuperação, com superfície uniforme, regularizada e sem ocorrências de defeitos na superfície.



Figura 7.6 - Condição dos Pavimentos Após as Obras de Recuperação



Apresenta-se a seguir o detalhamento da aplicação do micro revestimento a frio para o primeiro trecho de pesquisa, que se estende do km 62,600 ao km 64,600 para a pista norte e do km 61,400 ao km 63,400 para a pista sul.



Rodovia BR 381 - Trecho Belo horizonte - São Paulo

PROJETO 1 SGP/AFD_01 REV.01

EXECUÇÃO DE UMA CAMADA DELGADA A FRIO COMO REDUTORA DA REFLEXÃO DE TRINCAS

DETALHAMENTO e MAPEAMENTO DA APLICAÇÃO DO MRF (TRECHO MAPEADO PELA DYNATEST)

64,600	64,350	64,100	63,850	63,600	63,350	63,100	62,850	62,600
250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	

5,3	5,9	5,6	6,2	5,6	6,2	5,6	6,2	teor residual
5,3	5,9	5,6	6,2	5,6	6,2	5,6	6,2	teor residual
5,3	5,9	5,6	6,2	5,6	6,2	5,6	6,2	teor residual
18 mm		12 mm		8 mm		12 mm		
COM CAMADA DE BLOQUEIO (Teor residual 7,45%)						SEM CAMADA DE BLOQUEIO		

PISTA NORTE

SENTIDO DE APLICAÇÃO DO MRF (PISTA NORTE)-->

ian/09

jan/09



Paulista

Infra-estrutura LTDA

Rodovia BR 381 - Trecho Belo horizonte - São Paulo

PROJETO 1 SGP/AFD_01 REV.01

EXECUÇÃO DE UMA CAMADA DELGADA A FRIO COMO REDUTORA DA REFLEXÃO DE TRINCAS

DETALHAMENTO e MAPEAMENTO DA APLICAÇÃO DO MRF (TRECHO MAPEADO PELA DYNATEST)

	63,400	63,150	62,900	62,650	62,400	62,150	61,900	61,650	61,400	
	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	
teor residual	6,2	5,6	6,2	5,6	6,2	5,6	5,9	5,3		<-- SENTIDO DE APLICAÇÃO DO MRF (PISTA SUL)
teor residual	6,2	5,6	6,2	5,6	6,2	5,6	5,9	5,3		<-- SENTIDO DE APLICAÇÃO DO MRF (PISTA SUL)
	12 mm		8 mm		12 mm		18 mm			
	SEM CAMADA DE BLOQUEIO		COM CAMADA DE BLOQUEIO (Teor residual 7,5%)							

PISTA SUL

ian/08

jan/08

Já o detalhamento da aplicação do micro revestimento a frio para o segundo trecho de pesquisa é apresentado a seguir, trecho que se estende do km 57,000 ao km 58,000 para a pista norte e do km 56,700 ao km 58,200 para a pista sul.



Rodovia BR 381 - Trecho Belo horizonte - São Paulo

PROJETO 1 SGP/AFD_01 REV.01

EXECUÇÃO DE UMA CAMADA DELGADA A FRIO COMO REDUTORA DA REFLEXÃO DE TRINCAS

DETALHAMENTO e MAPEAMENTO DA APLICAÇÃO DO MRF (2º TRECHO DEFINIDO)

	58,200	57,950	57,700	57,450	57,200	56,950	56,700	
	250m	250m	250m	250m	250m	250m		
teor residual	6,2	5,6	6,2	5,6	6,2	5,6		<-- SENTIDO DE APLICAÇÃO DO MRF (PISTA SUL)
teor residual	6,2	5,6	6,2	5,6	6,2	5,6		
12 mm								
COM CAMADA DE BLOQUEIO (Teor residual 7,45%)								

	58,000	57,750	57,500	57,250	57,000	
	250m	250m	250m	250m		
SENTIDO DE APLICAÇÃO DO MRF (PISTA NORTE)-->	5,6	6,2	5,6	6,2		teor residual
	5,6	6,2	5,6	6,2		teor residual
8 mm						
COM CAMADA DE BLOQUEIO (Teor residual 7,45%)						

dez/08

Cumpramos ressaltar que foram recolhidas amostras nas pistas experimentais e as mesmas foram ensaiadas no CDT da OHL e no laboratório de Tecnologia de pavimentação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

7.9 RESULTADOS DOS ENSAIOS EM AMOSTRAS COLETADAS

De maneira geral a aplicação do micro revestimento deve ser realizada de forma bastante simples, de acordo com as especificações vigentes, com velocidade uniforme (a mais reduzida possível). A maior preocupação consiste em se observar a consistência do material, abrindo-se ou fechando-se a alimentação de água de modo a se manter a caixa distribuidora uniformemente carregada com a mistura.

Além disto, outros aspectos executivos devem ser considerados na aplicação de micro revestimentos, de acordo com a ISSA e a ABNT, sendo de grande importância para o bom desempenho da mistura.

Seguem a seguir os resultados dos ensaios realizados em amostras coletadas na pista ou na usina para os trechos em questão.



CONSTRUTORA GARCIA MONTEIRO

Concessionária AUTOPISTA FERNÃO DIAS - BR-381 Rodovia Fernão Dias

RESUMO DOS ENSAIOS DAS AMOSTRAS COLHIDAS NA USINA OU PISTA

EXECUÇÃO DE CAMADA DELGADA A FRIO COMO REDUTORA DA REFLEXÃO DE TRINCAS - SGP/AFD_01 REV.01

TRAÇO RELATÓRIO TÉCNICO 027-08 - PARA CAMADA DE BLOQUEIO

RESUMO DAS AMOSTRAS COLETADAS NA PISTA OU USINA							
GRANULOMETRIA DA MISTURA	PENEIRAS	PENEIRAS	MÉDIA			FAIXA DE TRABALHO	
	3/8"	9,52	100			100	100
	Nº 4	4,76	97			93	100
	Nº 8	2,38	72			71	81
	Nº 16	1,19	54			55	65
	Nº 30	0,59	37			41	51
	Nº 50	0,30	22			26	34
	Nº 100	0,15	14,7			17,5	23,5
	Nº 200	0,074	7,5			11,7	15,7
NÚMERO DE AMOSTRAS		2					
TEOR DE CAP		-	7,7			7,2	7,8
NÚMERO DE AMOSTRAS		2					

DATA EMISSÃO 2-mar-09



CONSTRUTORA GARCIA MONTEIRO

Concessionária AUTOPISTA FERNÃO DIAS - BR-381 Rodovia Fernão Dias

RESUMO DOS ENSAIOS DAS AMOSTRAS COLHIDAS NA USINA OU PISTA

EXECUÇÃO DE CAMADA DELGADA A FRIO COMO REDUTORA DA REFLEXÃO DE TRINCAS - SGP/AFD_01 REV.01

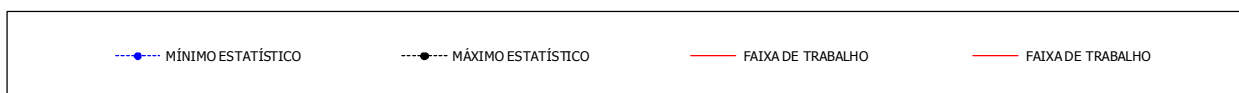
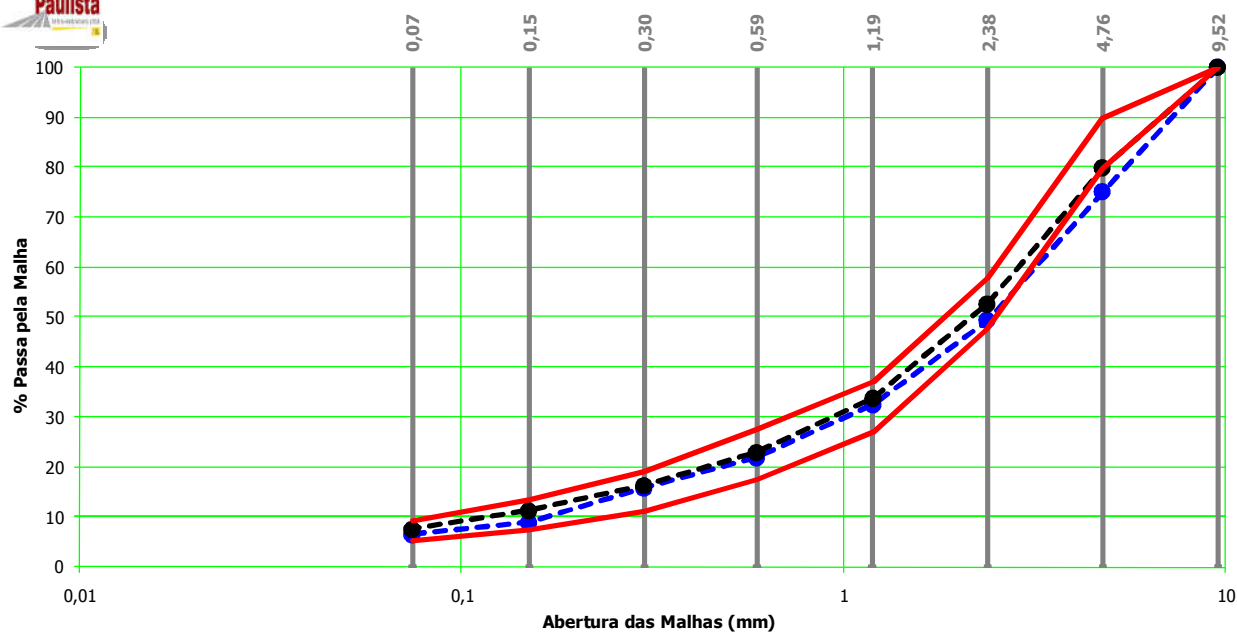
TRAÇO RELATÓRIO TÉCNICO 029-08 - PARA CAMADAS DE 8 e 12mm

RESUMO DAS AMOSTRAS COLETADAS NA PISTA OU USINA							
GRANULOMETRIA DA MISTURA	PENEIRAS	PENEIRAS	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	FAIXA DE TRABALHO	
	3/8"	9,52	100	100	100	100	100
	Nº 4	4,76	77	75	80	80	90
	Nº 8	2,38	51	49	53	48	58
	Nº 16	1,19	33	33	34	27	37
	Nº 30	0,59	23	22	23	18	28
	Nº 50	0,30	16	16	16	11	19
	Nº 100	0,15	10,2	9,0	11,3	7,4	13,4
	Nº 200	0,074	7,1	6,6	7,6	5,2	9,2
NÚMERO DE AMOSTRAS		5					
TEOR DE CAP		-	5,9	5,4	6,4	5,6	6,2
NÚMERO DE AMOSTRAS		5					

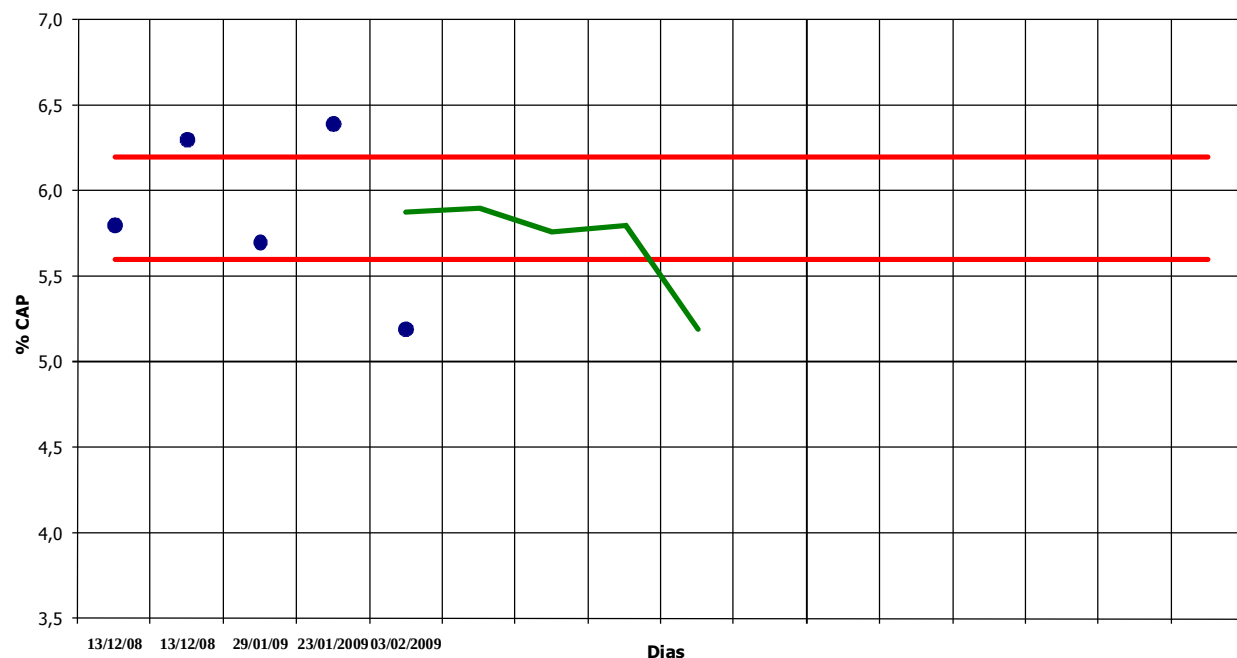
DATA EMISSÃO 2-mar-09



Granulometria RELATÓRIO TÉCNICO 029-08 - PARA CAMADAS DE 8 e 12mm



Teor de CAP RELATÓRIO TÉCNICO 029-08 - PARA CAMADAS DE 8 e 12mm





CONSTRUTORA GARCIA MONTEIRO

Concessionária AUTOPISTA FERNÃO DIAS - BR-381 Rodovia Fernão Dias

RESUMO DOS ENSAIOS DAS AMOSTRAS COLHIDAS NA USINA OU PISTA

EXECUÇÃO DE CAMADA DELGADA A FRIO COMO REDUTORA DA REFLEXÃO DE TRINCAS - SGP/AFD_01 REV.01

TRAÇO RELATÓRIO TÉCNICO 005-08 - PARA ESPESSURA DE 18mm

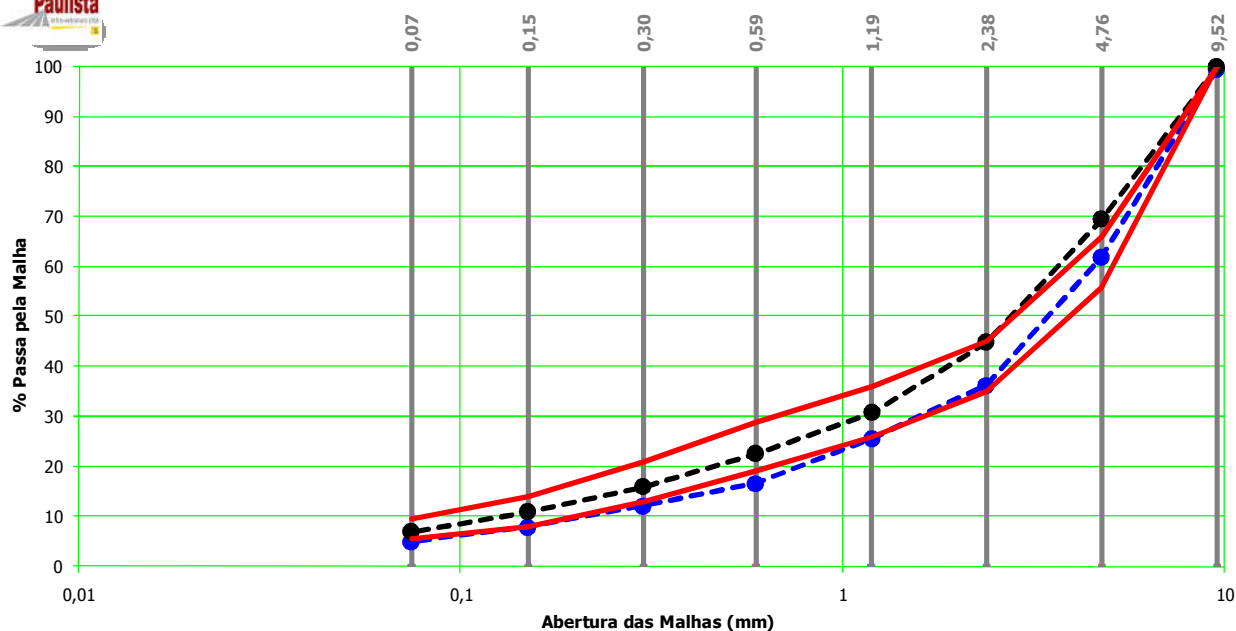
RESUMO DAS AMOSTRAS COLETADAS NA PISTA							
GRANULOMETRIA DA MISTURA	PENEIRAS	PENEIRAS	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	FAIXA DE TRABALHO	
	3/8"	9,52	100	100	100	100	100
	Nº 4	4,76	66	62	70	56	66
	Nº 8	2,38	41	36	45	35	45
	Nº 16	1,19	28	26	31	26	36
	Nº 30	0,59	20	17	22	19	29
	Nº 50	0,30	14	12	16	13	21
	Nº 100	0,15	9,4	7,8	10,9	8,1	14,1
NÚMERO DE AMOSTRAS		4					

TEOR DE CAP		-	5,1	4,5	5,8	5,4	6,0
NÚMERO DE AMOSTRAS		4					

DATA EMISSÃO 2-mar-09



Granulometria - RELATÓRIO TÉCNICO 005-08 - PARA ESPESSURA DE 18mm



---●--- MÍNIMO ESTATÍSTICO

---●--- MÁXIMO ESTATÍSTICO

— FAIXA DE TRABALHO

— FAIXA DE TRABALHO

7.10 EMPRESA CONSTRUTORA E MATERIAIS UTILIZADOS

A Empresa construtora contratada para a execução do micro revestimento foi a Garcia Monteiro, que utilizou material asfáltico da NTA – Novas Técnicas de Asfalto, sendo que toda a execução foi acompanhada pelo CDT da OHL.

Os ensaios de laboratório foram realizados no CDT - Centro de Desenvolvimento Tecnológico da OHL, em Atibaia e no LTP – Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da USP.

7.11 RESULTADOS DOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO

O monitoramento das pistas experimentais foi realizado com campanhas de ensaios não destrutivos dos pavimentos. Foram realizadas campanhas antes das obras, depois da obra e a partir de então trimestralmente. O presente relatório inclui o resumo de todos os resultados de monitoramento até a presente data.

As técnicas e métodos empregados nos ensaios realizados no estudo são descritos resumidamente a seguir e os resultados são apresentados em seguida:

7.11.1. Condição de Superfície

A monitoração da condição de superfície dos pavimentos contemplou o levantamento da condição superficial a partir da observação de defeitos executada obedecendo ao procedimento contido na Norma Rodoviária DNIT 006/2003 - PRO, “Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos”.

A condição dos pavimentos é conceituada tanto em termos de percentuais das estações de ensaio com ocorrência de defeitos de superfície quanto em função do Índice de Gravidade Global (IGG) conforme conceituação reproduzida na tabela a seguir:

Tabela 7.1 – Classificação Funcional do Pavimento

IGG	Conceito
$0 < \text{IGG} \leq 20$	Ótimo
$20 < \text{IGG} \leq 40$	Bom
$40 < \text{IGG} \leq 80$	Regular
$80 < \text{IGG} \leq 160$	Ruim
$\text{IGG} > 160$	Péssimo

Os resumos dos resultados de todas as campanhas são apresentados a seguir.

Índice de Gravidade Global - IGG

Trecho	Pista	Pista	km		IGG																											
			início	fim	dez-08			mar-09			jun-09			set-09			dez-09			jun-10			set-10			dez-10						
					Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3				
1	Norte	1	62,60	62,85	118	81	116	0	0	0	0	12	8	0	3	109	47	6	100	1	6	6	2	30	34	8	25	7				
		2	62,85	63,10	136	185	125	0	1	0	2	16	7	1	2	83	3	5	130	1	5	5	3	9	40	11	23	30				
		3	63,10	63,35	101	83	63	0	0	0	0	10	7	1	3	70	3	5	113	0	4	4	2	9	39	5	20	26				
		4	63,35	63,60	97	65	53	0	0	0	1	9	12	1	11	40	3	5	38	5	22	22	8	20	42	20	27	23				
		5	63,60	63,85	77	75	70	0	0	0	0	2	6	13	11	48	2	13	46	8	6	6	23	24	4	28	25	10				
		6	63,85	64,10	50	42	92	0	0	0	0	2	14	9	30	75	3	33	86	6	27	27	32	61	9	35	62	31				
		7	64,10	64,35	54	47	77	0	0	0	0	3	19	4	47	71	10	48	106	3	51	51	35	46	21	42	81	59				
		8	64,35	64,60	28	50	83	0	0	0	0	4	20	4	17	22	5	20	13	4	31	31	50	53	16	77	48	18				
	Sul	1	61,40	61,65	88	102	-	0	0	-	7	17	-	7	52	-	12	91	-	3	53	-	3	3	-	3	67	-				
		2	61,65	61,90	53	60	-	0	0	-	6	8	-	11	13	-	3	11	-	2	24	-	1	13	-	2	28	-				
		3	61,90	62,15	37	48	-	0	0	-	5	52	-	8	139	-	2	22	-	4	41	-	4	71	-	3	29	-				
		4	62,15	62,40	47	114	-	0	0	-	6	46	-	3	117	-	4	7	-	4	79	-	3	22	-	16	198	-				
		5	62,40	62,65	64	137	-	0	0	-	5	56	-	1	113	-	4	74	-	1	93	-	3	2	-	3	35	-				
		6	62,65	62,90	85	154	-	0	0	-	6	51	-	4	118	-	5	124	-	2	88	-	21	2	-	3	15	-				
		7	62,90	63,15	87	148	-	0	1	-	5	42	-	5	66	-	9	95	-	11	65	-	17	2	-	13	8	-				
		8	63,15	63,40	82	145	-	0	1	-	4	36	-	5	53	-	7	71	-	14	46	-	52	3	-	18	1	-				
2	Norte	1	57,00	57,25	78	31	-	0	0	-	0	10	-	2	9	-	4	24	-	1	6	-	6	8	-	1	5	-				
		2	57,25	57,50	65	68	-	0	0	-	0	8	-	6	42	-	11	40	-	4	4	-	4	23	-	11	38	-				
		3	57,50	57,75	66	23	-	0	0	-	0	18	-	13	16	-	21	25	-	30	26	-	12	21	-	59	37	-				
		4	57,75	58,00	52	31	-	0	0	-	0	6	-	4	22	-	14	37	-	19	31	-	17	19	-	39	47	-				
	Sul	1	56,70	56,95	77	54	-	0	0	-	0	21	-	2	21	-	8	28	-	3	19	-	5	13	-	17	23	-				
		2	56,95	57,20	58	13	-	0	0	-	0	6	-	18	5	-	4	10	-	1	8	-	4	15	-	5	16	-				
		3	57,20	57,45	76	36	-	0	0	-	0	5	-	7	8	-	8	14	-	2	9	-	6	16	-	17	22	-				
		4	57,45	57,70	38	50	-	0	0	-	0	7	-	1	13	-	4	10	-	1	10	-	1	13	-	8	20	-				
		5	57,70	57,95	27	48	-	0	0	-	0	4	-	3	24	-	5	34	-	1	25	-	14	12	-	24	31	-				
		6	57,95	58,20	54	35	-	0	0	-	0	7	-	2	9	-	3	30	-	2	21	-	11	22	-	30	37	-				

Trecho	Pista	Pista	km		% FC-2																									
			início	fim	dez-08			mar-09			jun-09			set-09			dez-09			jun-10			set-10			dez-10				
					Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3		
1	Norte	1	62,60	62,85	0%	20%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	20%	0%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	8%	12%	0%		
		2	62,85	63,10	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
		3	63,10	63,35	16%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	32%	0%	0%	0%	0%	12%	0%	0%	0%	0%		
		4	63,35	63,60	36%	20%	30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	32%	0%	2%	2%	4%	8%	0%	8%	8%	16%		
		5	63,60	63,85	48%	32%	36%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%		
		6	63,85	64,10	100%	80%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	2%	2%	0%	0%	0%	32%	4%	0%		
		7	64,10	64,35	80%	84%	24%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	3%	3%	0%	0%	0%	8%	48%	0%		
		8	64,35	64,60	48%	92%	32%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	2%	4%	12%	0%	8%	20%	0%		
Sul	1	61,40	61,65	4%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	28%	-	0%	2%	-	4%	0%	-	0%	12%	-			
	2	61,65	61,90	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-			
	3	61,90	62,15	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	3%	-	0%	0%	-	0%	1%	-	0%	4%	-	0%	4%	-			
	4	62,15	62,40	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	2%	-	0%	0%	-	0%	2%	-	0%	0%	-	0%	4%	-			
	5	62,40	62,65	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	16%	-	0%	1%	-	0%	0%	-	0%	0%	-			
	6	62,65	62,90	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	50%	-	0%	13%	-	12%	0%	-	0%	0%	-			
	7	62,90	63,15	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	18%	-	0%	88%	-	2%	30%	-	20%	0%	-	0%	0%	-			
	8	63,15	63,40	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	26%	-	0%	0%	-	24%	0%	-	0%	0%	-			
2	Norte	1	57,00	57,25	92%	8%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		
		2	57,25	57,50	88%	8%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	1%	0%	-	0%	0%	-	8%	4%	-		
		3	57,50	57,75	76%	24%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	1%	-	0%	32%	-	15%	24%	-	12%	20%	-	76%	52%	-		
		4	57,75	58,00	88%	4%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	48%	-	4%	6%	-	24%	20%	-	68%	72%	-		
	Sul	1	56,70	56,95	76%	40%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	8%	8%	-	0%	0%	-	0%	4%	-	0%	0%	-		
		2	56,95	57,20	72%	19%	-	0%																						

Porcentagem de Trincas – % FC3

Trecho	Pista	Pista	km		% FC-3																									
			início	fim	dez-08			mar-09			jun-09			set-09			dez-09			jun-10			set-10			dez-10				
					Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3	Fx 1	Fx 2	Fx 3		
1	Norte	1	62,60	62,85	96%	36%	92%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%	8%	0%	0%	0%		
		2	62,85	63,10	100%	76%	96%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
		3	63,10	63,35	84%	56%	67%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
		4	63,35	63,60	64%	32%	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%	0%	0%		
		5	63,60	63,85	52%	56%	48%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
		6	63,85	64,10	0%	0%	80%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
		7	64,10	64,35	16%	4%	68%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
		8	64,35	64,60	0%	4%	52%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
	Sul	1	61,40	61,65	92%	80%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	1%	-	0%	0%	-	0%	2%	-	0%	0%	-	0%	8%	-		
		2	61,65	61,90	56%	68%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	1%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		
		3	61,90	62,15	32%	36%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	3%	-	0%	2%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	4%	-		
		4	62,15	62,40	44%	64%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	13%	-	0%	12%	-	0%	5%	-	0%	0%	-	0%	40%	-		
		5	62,40	62,65	76%	88%	-	0%	0%	-	0%	2%	-	0%	1%	-	0%	0%	-	0%	4%	-	0%	0%	-	0%	8%	-		
		6	62,65	62,90	100%	84%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	8%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		
		7	62,90	63,15	100%	100%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		
		8	63,15	63,40	96%	100%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	1%	8%	-	36%	0%	-	0%	0%	-		
2	Norte	1	57,00	57,25	35%	8%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		
		2	57,25	57,50	36%	28%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		
		3	57,50	57,75	8%	16%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	24%	0%	-		
		4	57,75	58,00	16%	20%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		
	Sul	1	56,70	56,95	16%	16%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	4%	-	0%	0%	-		
		2	56,95	57,20	0%	4%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		
		3	57,20	57,45	8%	8%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	4%	-	0%	0%	-		
		4	57,45	57,70	12%	25%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		
		5	57,70	57,95	0%	32%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	1%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		
		6	57,95	58,20	0%	4%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	0%	4%	-	0%	1%	-	0%	0%	-	0%	0%	-		

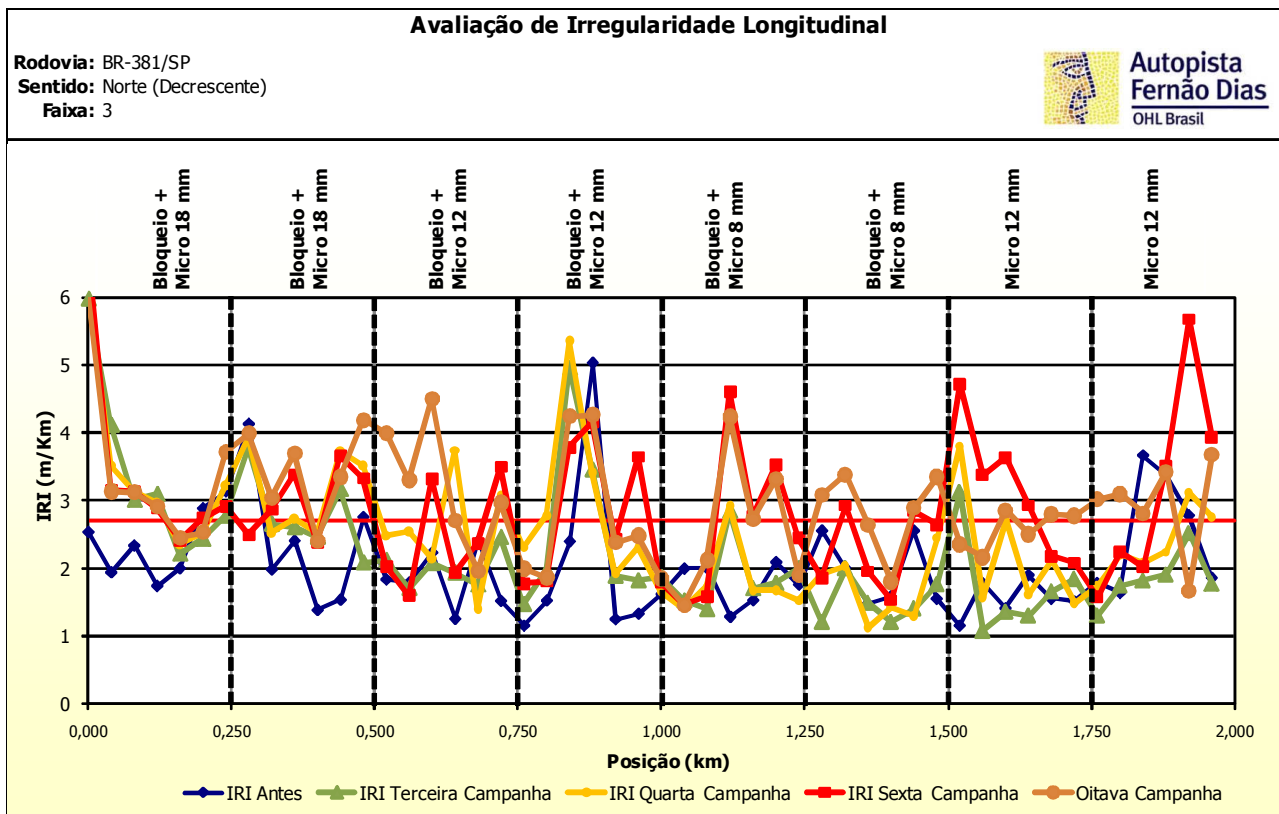
Trilha de Roda – FLE (mm)

Trecho	Pista	Pista	km		FLE (mm)																								
			início	fim	dez-08			mar-09			jun-09			set-09			dez-09			jun-10			set-10			dez-10			
					Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	
1	Norte	1	62,60	62,85	5,7	4,0	3,7	0,0	0,0	0,1	0,0	3,8	2,6	0,1	1,3	3,4	1,9	2,3	5,6	0,4	1,8	1,8	0,7	1,1	1,8	1,6	4,2	1,4	
		2	62,85	63,10	8,5	9,0	3,2	0,0	0,2	0,0	0,2	4,0	3,9	0,8	1,4	2,5	1,8	2,5	4,7	0,2	2,2	2,2	0,9	1,8	2,4	2,1	4,8	4,4	
		3	63,10	63,35	6,3	4,3	1,6	0,0	0,0	0,0	0,1	2,7	3,2	0,4	1,6	2,5	1,9	2,8	5,2	0,0	2,3	2,3	0,9	1,9	2,8	2,2	6,2	1,3	
		4	63,35	63,60	4,7	4,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	3,0	3,7	0,6	1,5	2,1	1,7	5,0	5,0	0,8	2,1	2,1	0,8	3,3	2,8	1,9	3,7	0,3	
		5	63,60	63,85	2,0	2,6	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,8	3,2	5,0	1,5	5,0	5,8	1,7	2,7	2,7	1,6	4,2	1,0	2,1	4,0	3,1	
		6	63,85	64,10	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,3	1,8	2,9	4,5	0,6	4,9	5,2	1,2	3,8	3,8	2,9	6,8	3,3	1,7	3,1	3,5	
		7	64,10	64,35	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	2,8	2,0	3,7	5,4	1,3	5,7	4,0	1,8	3,9	3,9	1,7	5,4	4,9	1,8	2,2	3,0	
		8	64,35	64,60	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	3,0	1,7	2,7	4,5	1,0	3,7	2,2	2,4	5,3	5,3	1,8	5,8	5,3	1,3	1,6	1,8	
	Sul	1	61,40	61,65	0,0	1,2	-	0,0	0,0	-	3,5	3,5	-	4,7	4,0	-	2,7	4,6	-	1,4	4,9	-	1,9	1,3	-	1,8	3,9	-	
		2	61,65	61,90	0,6	0,7	-	0,0	0,0	-	2,4	2,6	-	4,2	3,1	-	2,0	4,3	-	1,6	4,1	-	0,4	0,8	-	1,4	2,1	-	
		3	61,90	62,15	0,0	2,0	-	0,0	0,0	-	1,4	4,0	-	2,9	6,6	-	1,8	4,5	-	1,3	3,4	-	1,0	3,8	-	1,1	1,5	-	
		4	62,15	62,40	0,0	3,2	-	0,0	0,1	-	2,3	2,4	-	0,6	3,3	-	2,7	9,8	-	1,4	3,5	-	1,0	1,6	-	1,0	2,9	-	
		5	62,40	62,65	0,0	4,3	-	0,0	0,1	-	2,3	3,7	-	0,3	3,3	-	2,3	4,5	-	0,8	4,4	-	1,2	1,3	-	0,8	1,2	-	
		6	62,65	62,90	0,0	5,5	-	0,0	0,1	-	2,4	3,9	-	0,8	5,0	-	2,5	6,2	-	1,5	6,1	-	1,2	0,9	-	0,9	0,8	-	
		7	62,90	63,15	0,0	9,1	-	0,0	0,4	-	2,0	8,5	-	0,9	11,4	-	2,8	10,9	-	2,2	11,2	-	2,1	1,3	-	0,8	0,8	-	
		8	63,15	63,40	0,0	10,7	-	0,0	0,4	-	1,6	9,1	-	1,1	10,1	-	2,7	11,0	-	2,2	9,7	-	2,0	1,4	-	1,3	0,5	-	
2	Norte	1	57,00	57,25	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	4,3	-	0,4	1,1	-	3,0	3,9	-	0,5	2,6	-	1,7	3,2	-	0,3	0,8	-	
		2	57,25	57,50	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	3,4	-	0,9	2,6	-	5,0	4,2	-	0,8	2,1	-	1,9	3,6	-	0,4	2,2	-	
		3	57,50	57,75	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	2,9	-	0,4	2,9	-	3,0	5,5	-	0,7	3,6	-	3,3	4,3	-	0,8	2,9	-	
		4	57,75	58,00	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	2,8	-	0,3	3,6	-	3,0	6,1	-	0,8	5,2	-	2,9	5,2	-	1,2	4,6	-	
	Sul	1	56,70	56,95	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	2,5	-	0,7	1,7	-	0,8	3,7	-	0,8	3,4	-	1,5	3,4	-	2,4	3,3	-	
		2	56,95	57,20	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	2,1	-	1,0	1,3	-	0,6	2,1	-	0,5	3,0	-	1,6	3,3	-	1,6	2,4	-	
		3	57,20	57,45	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	1,7	-	1,7	2,8	-	0,6	3,0	-	1,1	3,8	-	1,5	4,1	-	2,6	3,5	-	
		4	57,45	57,70	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	2,5	-	0,7	1,1	-	0,9	3,2	-	0,5	2,0	-	0,5	1,9	-	1,7	1,8	-	
		5	57,70	57,95	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	1,7	-	1,0	1,7	-	1,3	3,4	-	0,4	3,3	-	1,1	2,7	-	1,9	2,6	-	
		6	57,95	58,20	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	3,1	-	1,3	2,3	-	1,2	3,8	-	1,5	3,8	-	1,7	3,3	-	1,5	2,5	-	

7.11.2. Condição de Conforto - Irregularidade Longitudinal

A determinação da irregularidade longitudinal do pavimento procedeu-se com o perfilômetro laser DYNATEST 5051 Mk-III RSP, composto por três sensores lasers para medição de “profundidade” da pista, dois acelerômetros para compensação de esforços inerciais e um sensor óptico de partida assentados em uma barra transdutora, determinando o International Roughness Index (IRI);

Os gráficos apresentados a seguir fazem a comparação dos resultados de todas as campanhas realizadas.



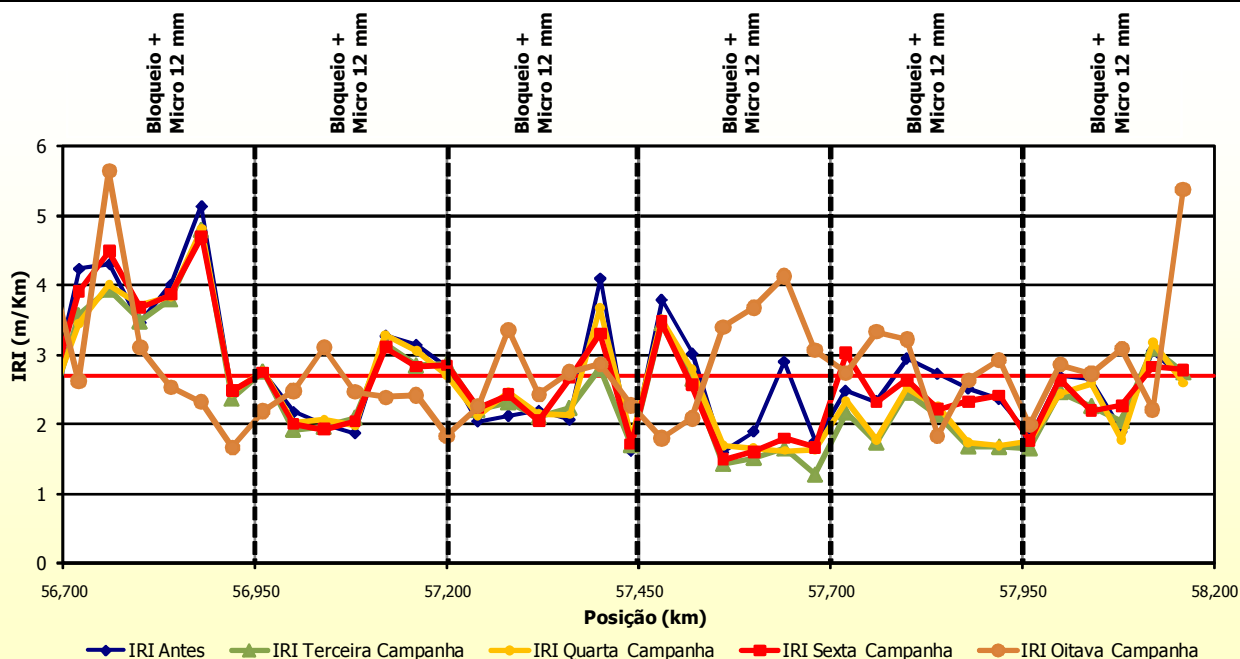


Avaliação de Irregularidade Longitudinal

Rodovia: BR-381/SP
Sentido: Sul (Crescente)
Faixa: 2



**Autopista
Fernão Dias**
OHL Brasil

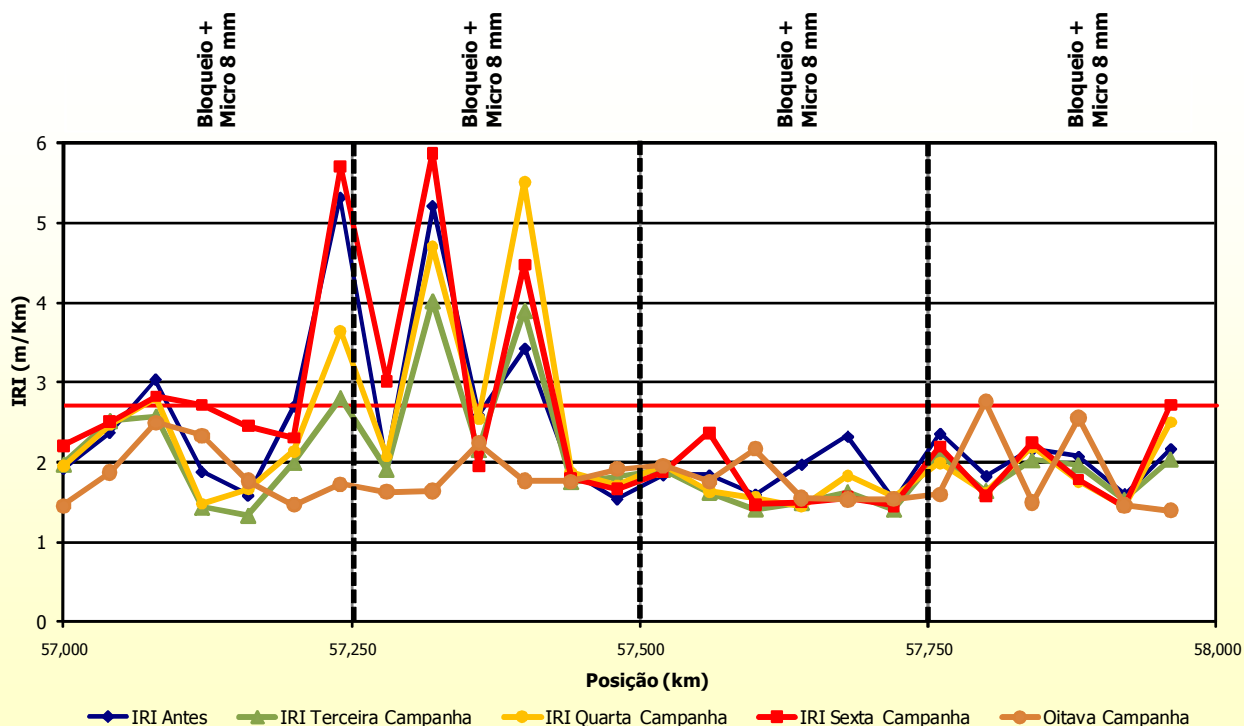


Avaliação de Irregularidade Longitudinal

Rodovia: BR-381/SP
Sentido: Norte (Decrescente)
Faixa: 2



**Autopista
Fernão Dias**
OHL Brasil



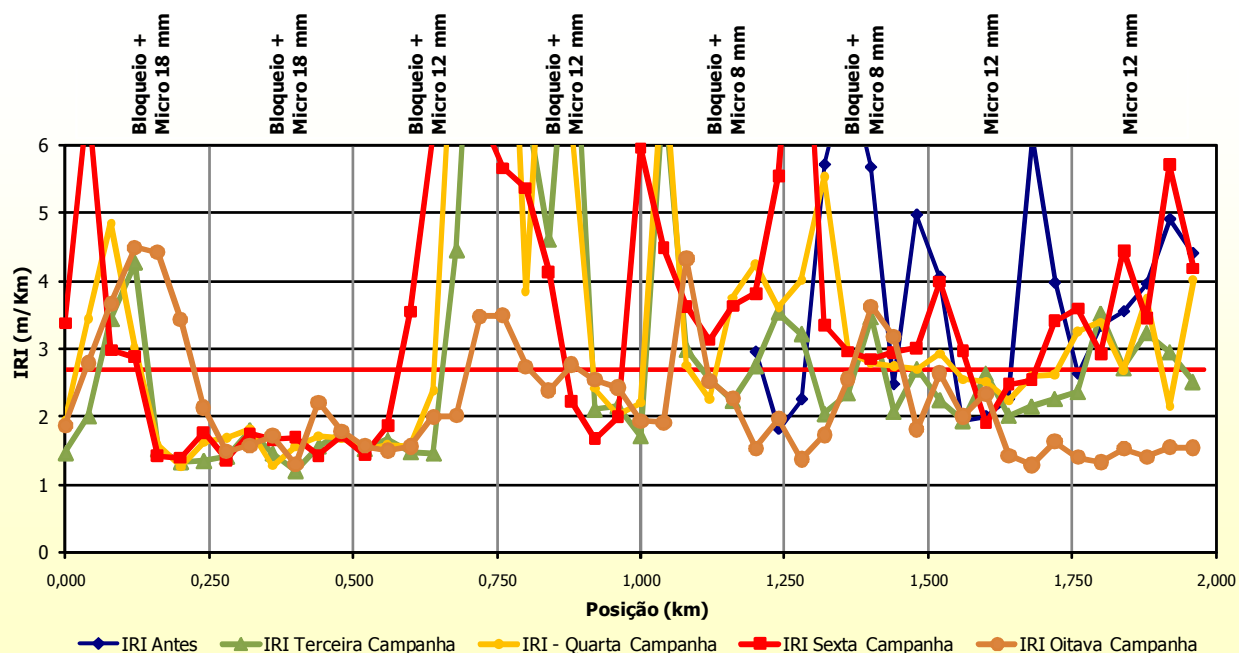


Avaliação de Irregularidade Longitudinal

Rodovia: BR-381/SP
Sentido: Sul (Crescente)
Faixa: 2



**Autopista
Fernão Dias**
OHL Brasil



7.11.3. Condição Deflectométrica

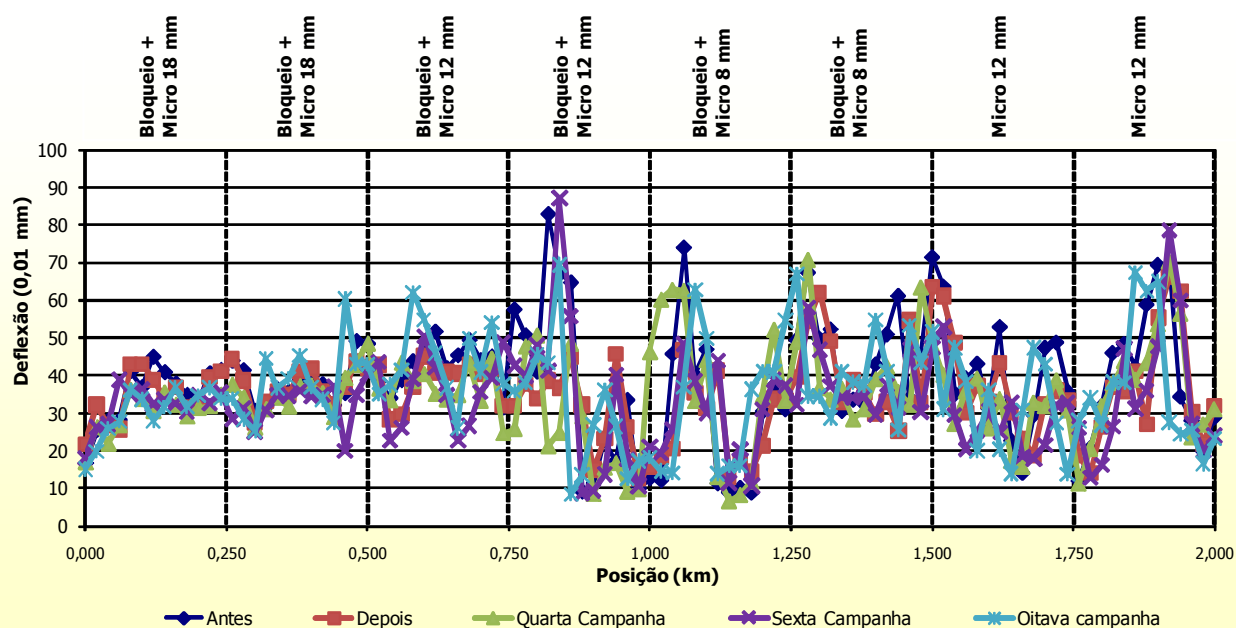
A avaliação estrutural do pavimento foi realizada através de levantamentos deflectométricos com o emprego do Falling Weight Deflectometer Dynatest 8000 (FWD), que é um deflectômetro de impacto projetado para simular o efeito de cargas de roda em movimento simulando a passagem do semi-eixo padrão rodoviário brasileiro – eixo simples de rodagem dupla carregado com 8.2tf;

Os gráficos apresentados a seguir fazem a comparação dos resultados de todas as campanhas realizadas.



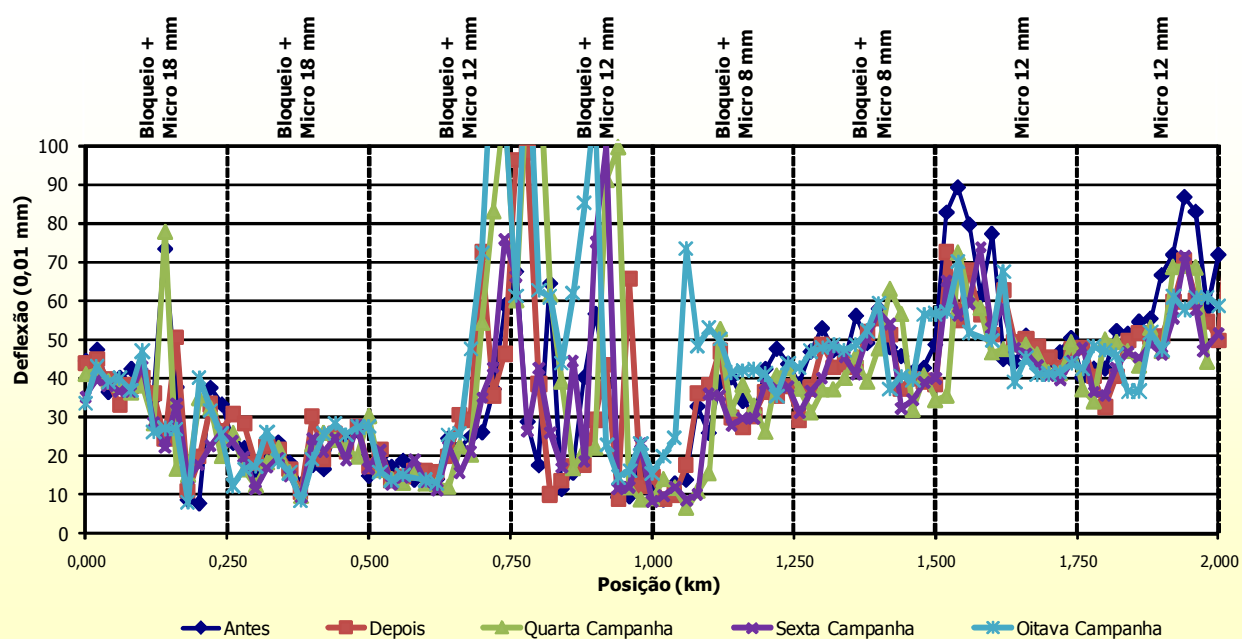
Condição Deflectométrica ao Longo do Trecho

Rodovia: BR-381
Sentido: Norte
Faixa: 03



Condição Deflectométrica ao Longo do Trecho

Rodovia: BR-381
Sentido: Sul
Faixa: 02



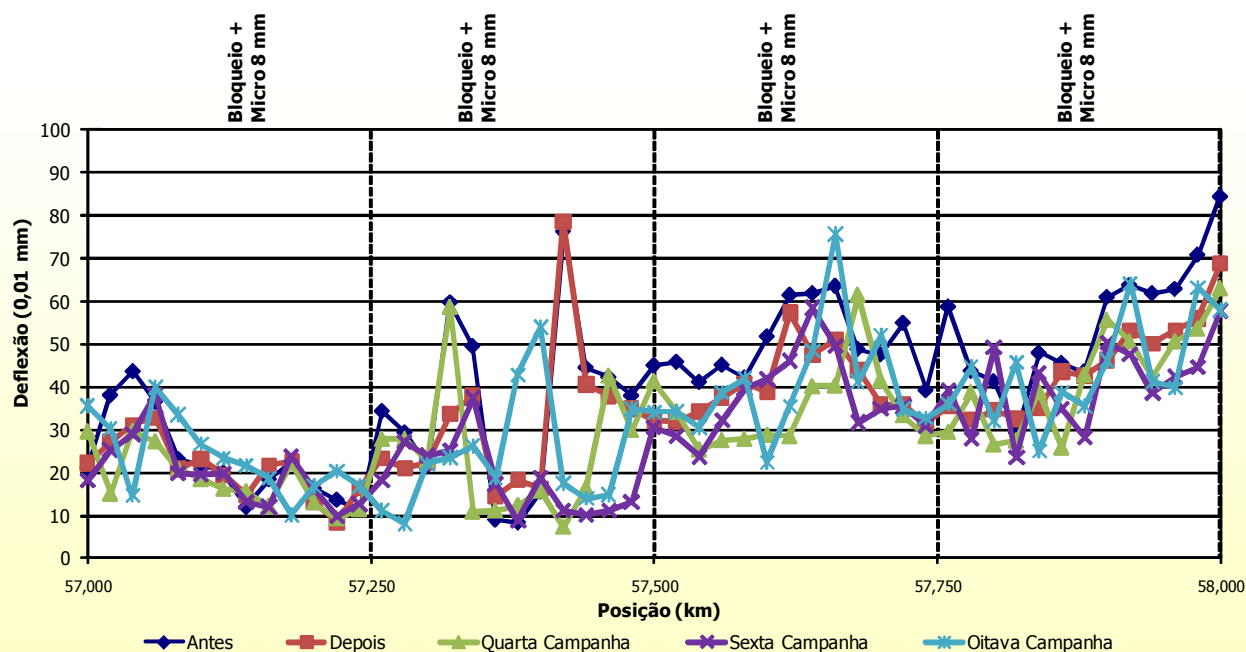


Condição Deflectométrica ao Longo do Trecho

Rodovia: BR-381
Sentido: Norte
Faixa: 02



**Autopista
Fernão Dias**
OHL Brasil

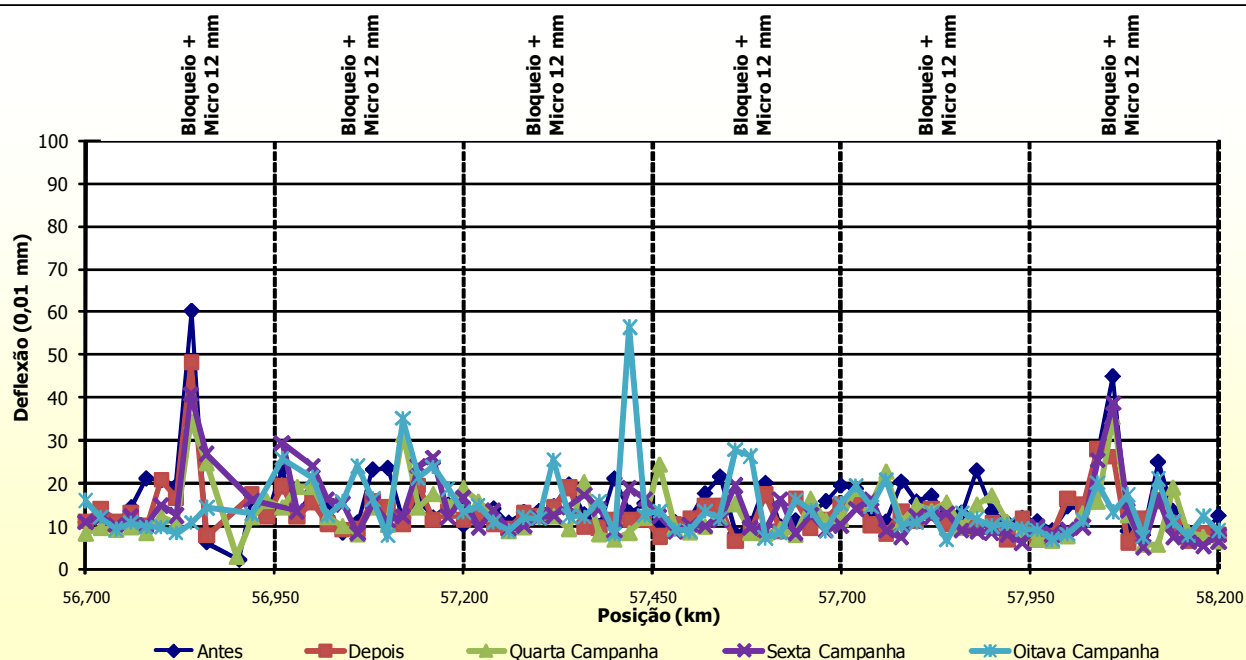


Condição Deflectométrica ao Longo do Trecho

Rodovia: BR-381
Sentido: Sul
Faixa: 02



**Autopista
Fernão Dias**
OHL Brasil



7.11.4. Ensaios Destrutivos - Poços de Sondagem

Nos referidos trechos de pesquisa, executou-se 10 (Dez) poços de inspeção do tipo “janela” com o intuito de se conhecer a estrutura existente em cada um dos quatro trechos. Os resultados das sondagens, bem como os ensaios de laboratório, são apresentados no “Relatório de Ensaios de Controle Pós Execução, que Contemplam a Abertura de Janelas, Coleta de Material, Caracterização com Ensaios Convencionais do Pavimento, Caracterização com Ensaios Especiais das Camadas Granulares e de Solo do Pavimento”.

A tabela resumo apresentada na sequência sintetiza os resultados dos poços de inspeção para os segmentos em questão.

Autopista Fernão Dias												
Trecho	Pista	Janela	Faixa	Estaca / km	Pista Experimental	Revestimento		Base		Sub-Base		Subleito
						Material	Espesura (cm)	Material	Espesura (cm)	Material	Espesura (cm)	Material
1	Norte	1	3	0,375	Bloq + Micro 18	CBUQ	26	BGS	12	MACADAME SECO	70	MACADAME SECO
		2	3	0,900	Bloq + Micro 12	CBUQ	34	BGS	19	MACADAME SECO	21	MACADAME SECO
		3	3	1,400	Bloq + Micro 8	CBUQ	24	BGS	17	MACADAME SECO	15	MACADAME SECO
		4	3	1,900	Micro 12	CBUQ	29	BGS	12	MACADAME SECO	22	MACADAME SECO
	Sul	5	2	0,400	Bloq + Micro 18	CBUQ	24	BGS	12	MACADAME SECO	26	SILTE BEGE
		6	2	0,800	Bloq + Micro 12	CBUQ	23	BGS	16	MACADAME SECO	28	SILTE BEGE C/ BRITA
		7	2	1,600	Micro 12	CBUQ	23	BGS	20	MACADAME SECO	48	MACADAME SECO
2	Sul	8	2	57,800	Bloq + Micro 8	CBUQ	23	BGS	23	MACADAME SECO	21	ARGILA MARROM
	Norte	9	2	57,150	Bloq + Micro 8	CBUQ	33	BGS	20	MACADAME SECO	28	ARGILA VERMELHA COM CASCALHO
		10	2	57,600	Bloq + Micro 12	CBUQ	17	BGS	16	MACADAME SECO	30	ARGILA VERMELHA

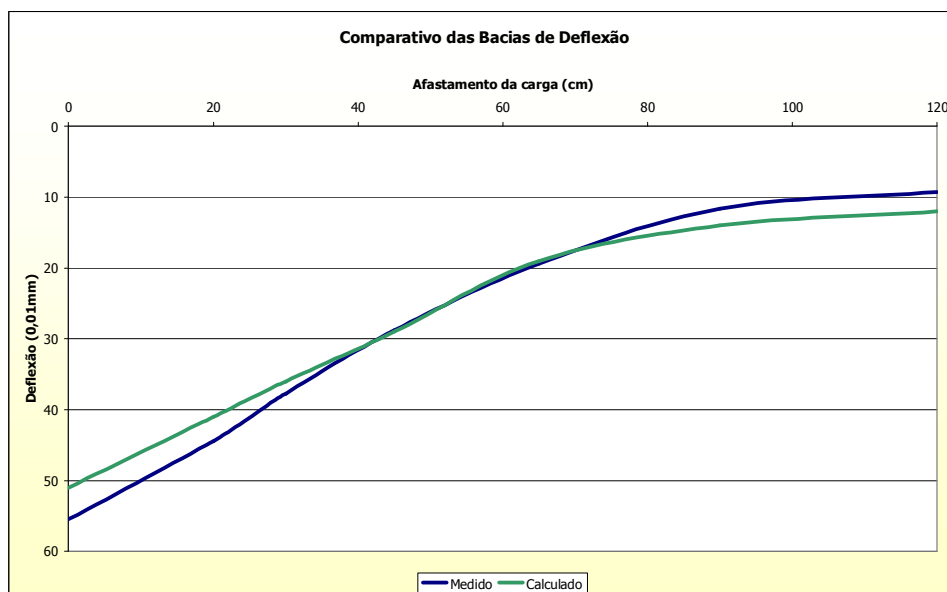
7.11.5. Ensaios Não Destrutivos

A retroanálise das bacias de deflexões consiste num sistema interativo onde, tendo-se os dados do pavimento referentes às deflexões medidas em campo, espessuras das camadas e respectivos coeficientes de Poisson, faz-se o cálculo através da Teoria da Elasticidade de um sistema de módulos para as diversas camadas constituintes da estrutura do pavimento, de forma a se obter, por meio de tentativas, uma boa comparação entre a bacia de deflexões teórica (calculada) com aquela obtida em campo.

Desta forma, o objetivo é a caracterização do comportamento de cada uma das camadas constituintes do pavimento in situ, através de seus módulos de resiliência.

O processo de retroanálise consiste resumidamente em um processo interativo, onde de posse dos dados do pavimento (espessura das camadas, coeficientes de Poisson, carregamento e superfície deformada), determina-se um sistema de módulos para as camadas constituintes da estrutura.

Este processo se dá a partir do cálculo e comparação de uma superfície deformada com aquela obtida em campo, objetivando minimizar as diferenças, de acordo com a figura abaixo.



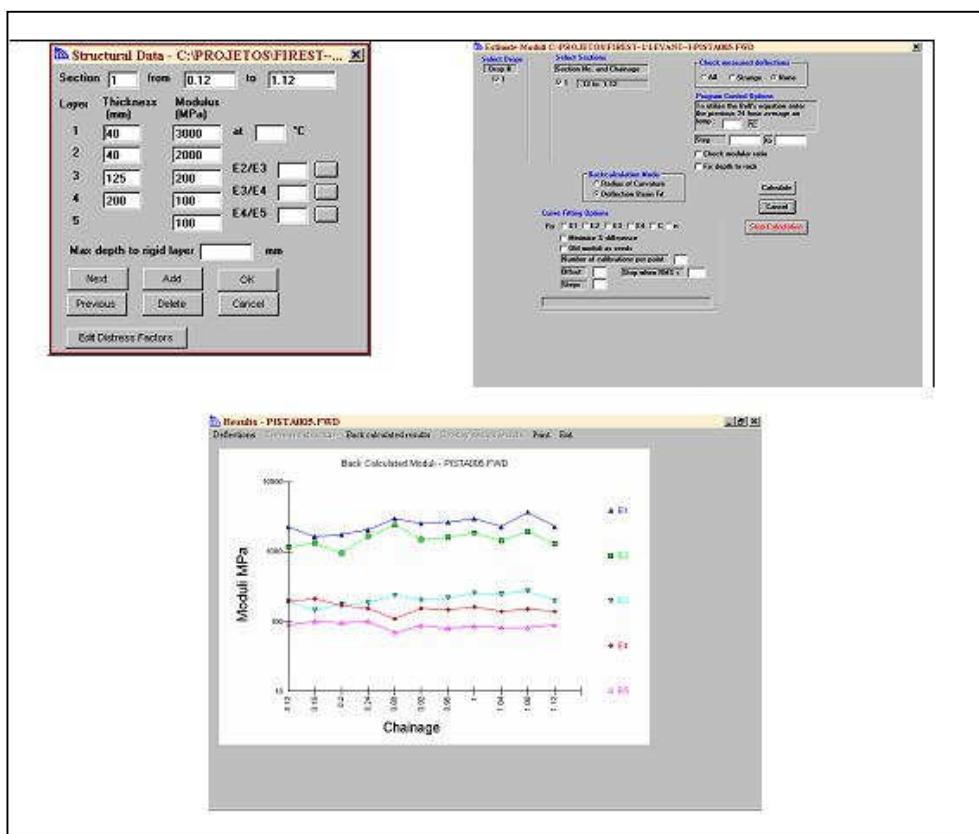
Desta forma os módulos retroanalizados poderiam ser descritos como sendo os módulos de resiliência em resposta ao carregamento de sistemas estruturados, pois a deformação total da estrutura é composta basicamente pelas deformações particulares de cada material constituinte da estrutura, relacionada às características de rigidez das mesmas.

No presente estudo empregou-se o programa computacional Elmod5, que é um software específico para cálculos mecânicos e avaliações estruturais, cujos dados de entrada são os arquivos de leitura do FWD, a estrutura do pavimento e os módulos de resiliência de cada camada (ou a relação entre os módulos das diferentes camadas). O processo iterativo é realizado para cada estação de ensaio deflectométrico individualmente, no intuito de se minimizar o RMS (Root Mean Square Error), (raiz quadrada das somas dos quadrados das diferenças entre as deformadas calculadas e medidas), cuja equação é apresentada a seguir.

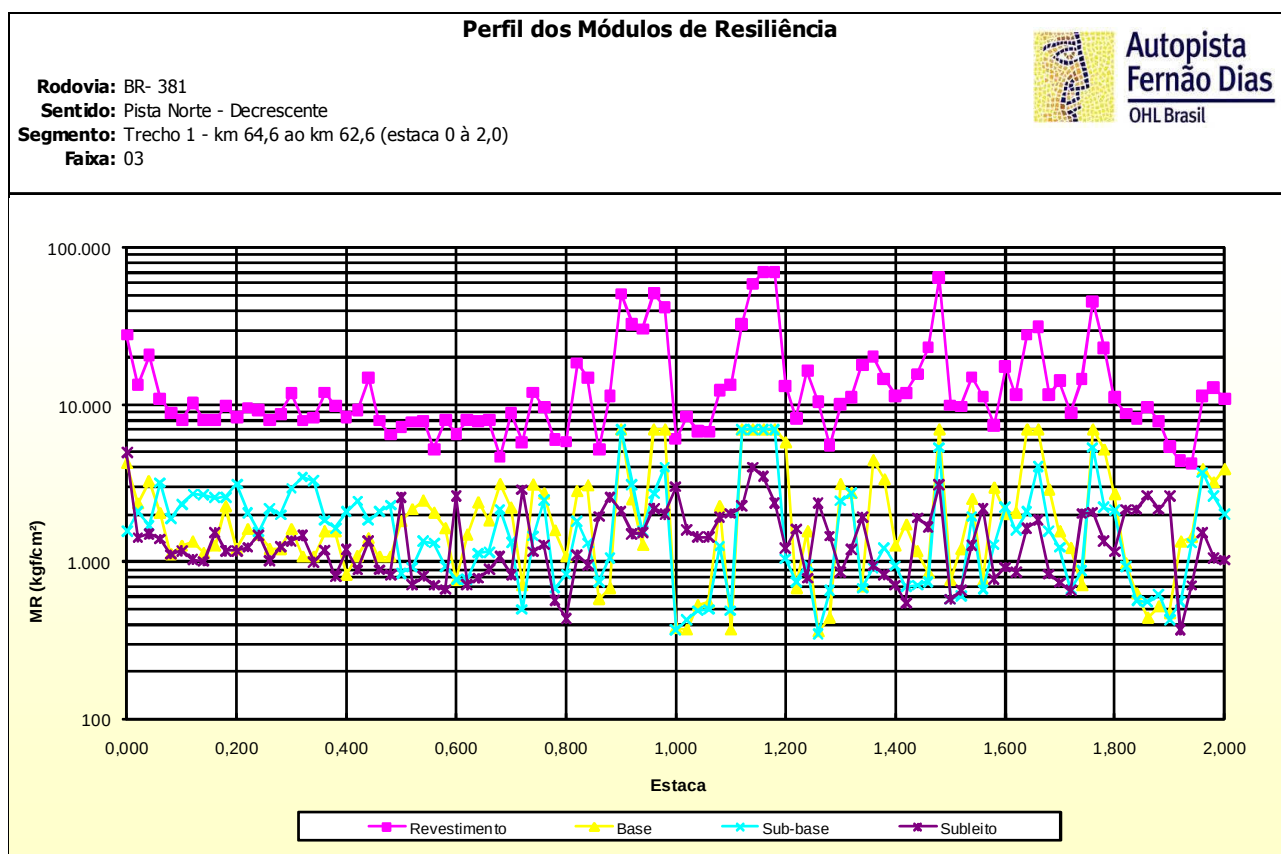
$$\text{RMS error (\%)} = \left[\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{100 \times (d_c - d_m)}{d_m} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Segundo a literatura internacional, a checagem de erros pelo RMS leva a um resultado melhor pois a abrangência da checagem é independente do número de pontos de leitura das deformações na superfície deformada.

Apresentam-se a seguir, a título ilustrativo, algumas das telas do programa:



Os gráficos na seqüência sintetizam os resultados obtidos para os trechos em questão.



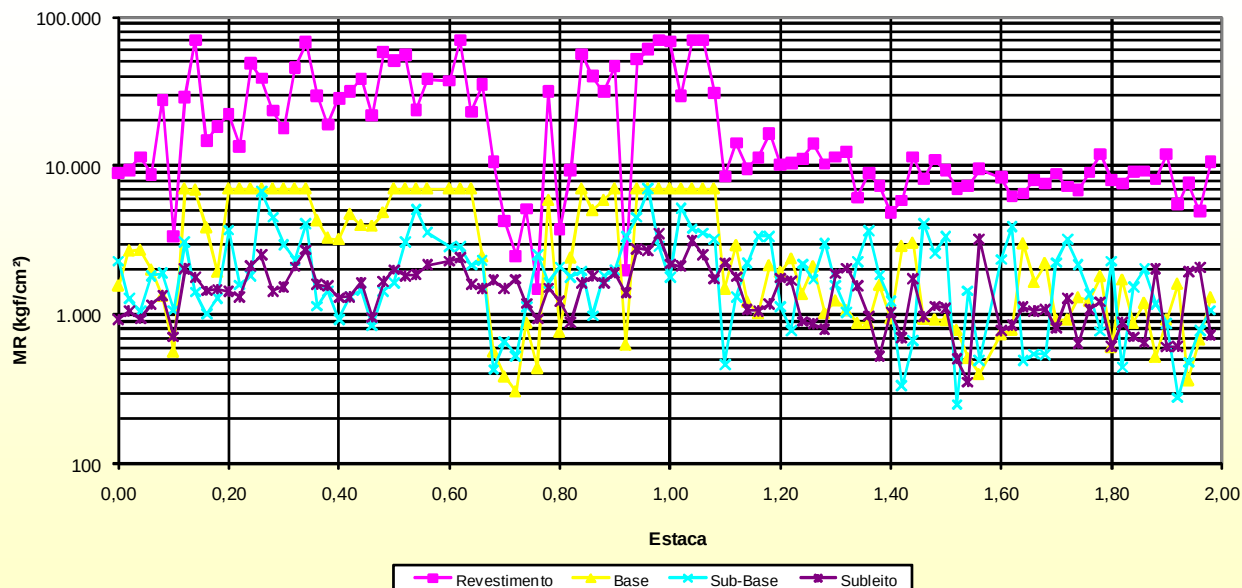


Perfil dos Módulos de Resiliência

Rodovia: BR- 381
Sentido: Pista Sul - Crescente
Segmento: Trecho 1 - km 61,4 ao km 63,4 (estaca 0 à 2)
Faixa: 02



**Autopista
Fernão Dias**
OHL Brasil

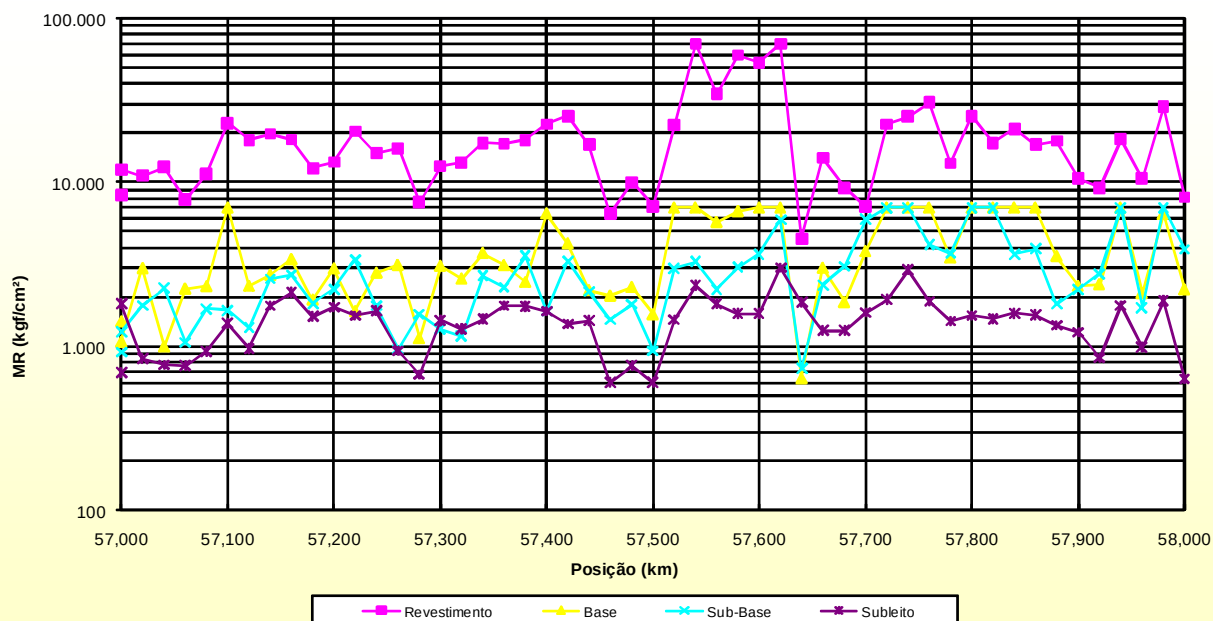


Perfil dos Módulos de Resiliência

Rodovia: BR- 381
Sentido: Pista Norte - Decrescente
Segmento: Trecho 2 - km 58,0 ao km 57,0
Faixa: 02



**Autopista
Fernão Dias**
OHL Brasil



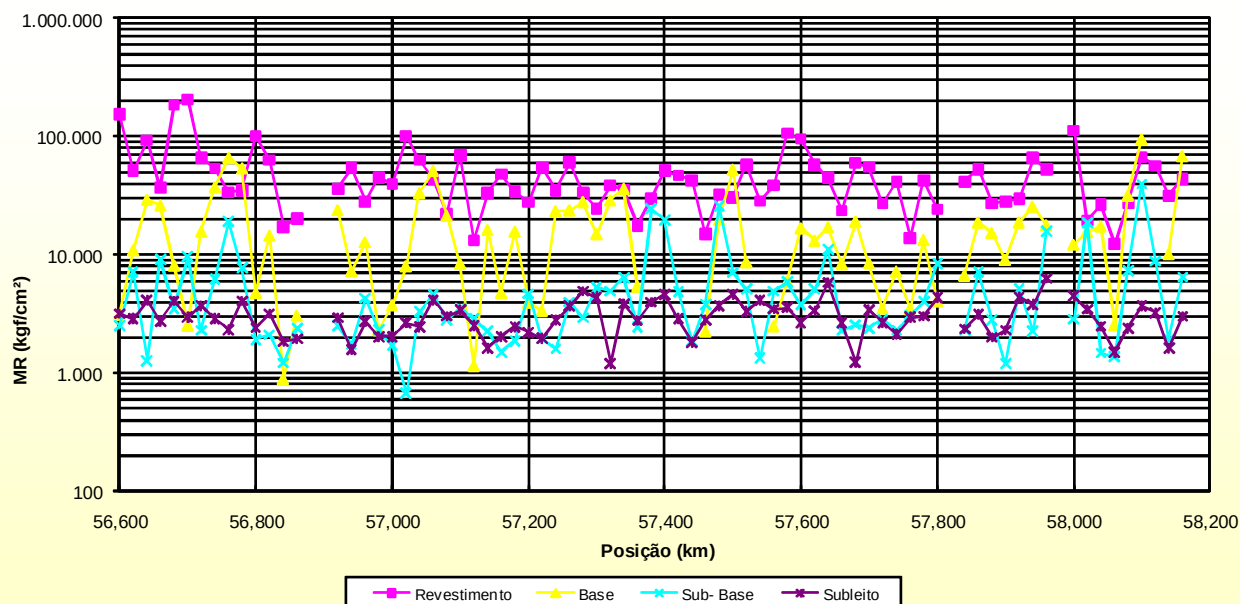


Perfil dos Módulos de Resiliência

Rodovia: BR- 381
Sentido: Pista Sul - Crescente
Segmento: Trecho 2 - km 56,7 ao km 58,2
Faixa: 02



**Autopista
Fernão Dias**
OHL Brasil



7.12 ANÁLISES

O monitoramento das pistas experimentais, até a presente data, foi realizado antes e depois da obra, 6 meses após a execução da obra (3ª campanha), 9 meses após a execução da obra (4ª campanha) e 12 meses após a execução da obra (5ª campanha), 15/17 meses após a execução da obra (6ª campanha), 18 meses após a execução da obra (7ª campanha), 21 meses após a execução da obra (8ª campanha) e 24 meses após a execução da obra (9ª campanha). Com esses dados, podemos tirar conclusões finais do desempenho dos pavimentos das pistas em questão já que as campanhas de monitoramento das condições de superfície foram realizadas trimestralmente por aproximadamente 2 anos e podem identificar as tendências e os processos evolutivos da deterioração dos pavimentos.

• CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS

A seguir são apresentados os resultados finais das evoluções das condições funcionais dos pavimentos das pistas experimentais, sendo os dados apresentados para antes da obra (Dez/2008), depois das obras (Março/2009), 6 meses após as obras (Junho/2009), 9 meses após as obras (Setembro/2009), 12 meses após as obras (Dezembro/2009), 15/17 meses após as obras (Março/2010), 18 meses após as obras (Junho/2010), 21 meses após as obras (Setembro/2010) e 24 meses após as obras (Dezembro/2010).

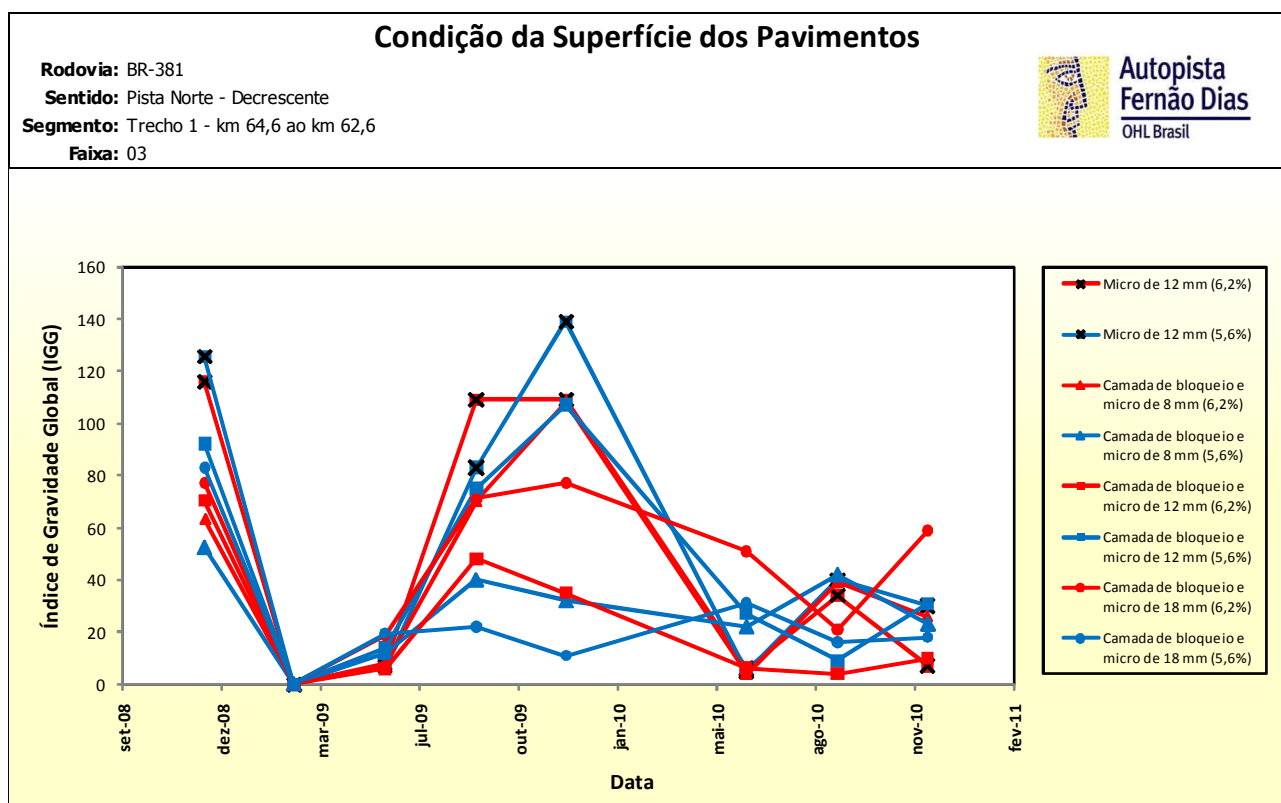
7.12.1. Índice de Gravidade Global (IGG)

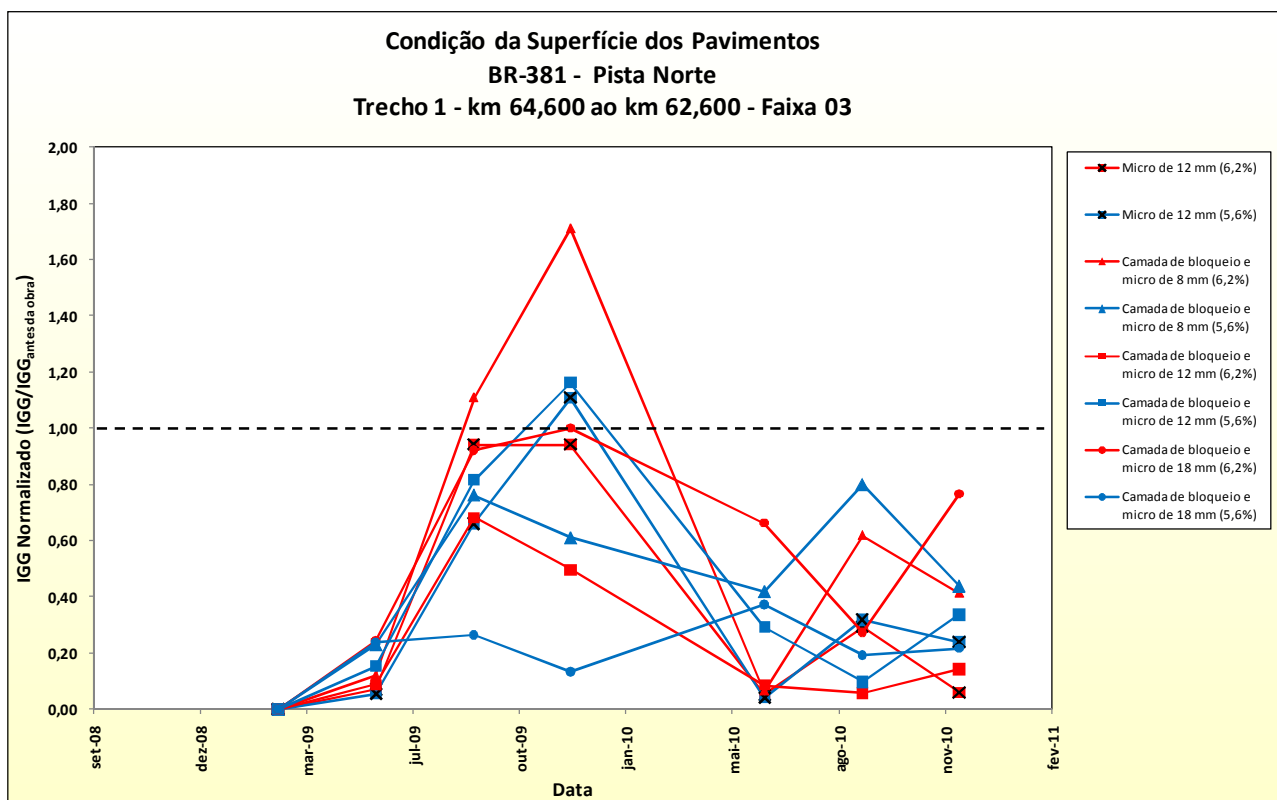
As evoluções das condições de superfície dos pavimentos, em termos de IGG (que representa o grau de deterioração da condição superficial do pavimento como um todo), são apresentadas a seguir para cada segmento das pistas experimentais, visto que os processos de deterioração podem se mostrar distintos nas pistas em região serrana (trecho 1) e nas pistas em região plana (trecho 2).

Ressalta-se que a codificação empregada foi à seguinte:

- o Para segmentos onde teor de asfalto é igual a 5,6%, foram representados nos gráficos com símbolos em azul;
- o Do mesmo modo, utilizaram-se símbolos em cor vermelha para representar segmentos com teor de asfalto igual a 6,2%;
- o Já para segmentos onde a camada de bloqueio não foi utilizada os marcadores estão indicados com um “x”.

Apresentam-se a seguir os gráficos de índice de gravidade global (IGG) e IGG normalizado, sendo o IGG normalizado definido como o IGG sobre o IGG antes da obra de recuperação dos pavimentos, para a faixa externa do trecho 1 norte, segmento em serra que se estende do km 64,6 ao km 62,6.





Pode-se observar pelos gráficos acima que os valores de IGG são, em geral, inferiores para os segmentos com teor de asfalto abaixo do teor ótimo, ou seja, teor de 5,6% para este caso. No caso da solução de “camada de bloqueio + micro 12 mm” observa-se uma tendência divergente (IGG para teor de 6,2% inferior ao IGG para teor de 5,6%), mas vale ressaltar que este segmento se encontra com condições deflectométricas inferiores aos demais segmentos deste trecho de serra, o que pode ajudar a retardar o processo de deterioração dos pavimentos e, portanto, influenciar os resultados.

Além disso, pode-se constatar que os valores de IGG diminuem com o acréscimo de espessura de micro revestimento após a camada de bloqueio. Contudo, a solução com 8mm de micro revestimento se mostrou não adequada, pois as condições de IGG atingiram rapidamente os valores antes da obra.

Vale destacar que os valores de IGG para o trecho em questão retornaram a valores próximos dos originais, ou seja, IGG normalizado igual a 1, em aproximadamente 1 ano após a obra de recuperação dos pavimentos, o que resultou em campanhas de manutenção que ocorreram nos pavimentos já que os mesmos se encontravam em condições péssimas e necessitavam de correções para garantir a segurança do usuário. Portanto, os valores de IGG baixos a partir de Dezembro de 2010 são resultado das campanhas de manutenção dos pavimentos.

Finalmente, observa-se que os valores de IGG para a solução de micro sem a camada de bloqueio são sempre piores que os valores das demais soluções.

Apresentam-se a seguir os gráficos de índice de gravidade global (IGG) e IGG normalizado para a faixa externa do trecho 1 sul, segmento também em serra que se estende do km 61,4 ao km 63,4.



Condição da Superfície dos Pavimentos

Rodovia: BR-381

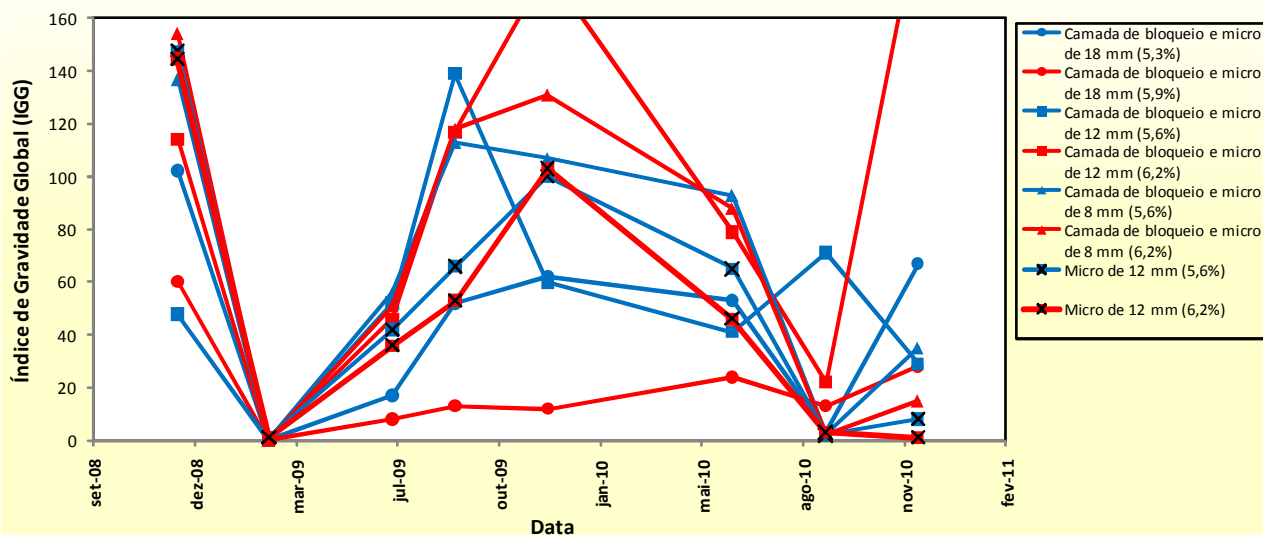
Sentido: Pista Sul - Crescente

Segmento: Trecho 1 - km 61,4 ao km 63,4

Faixa: 02



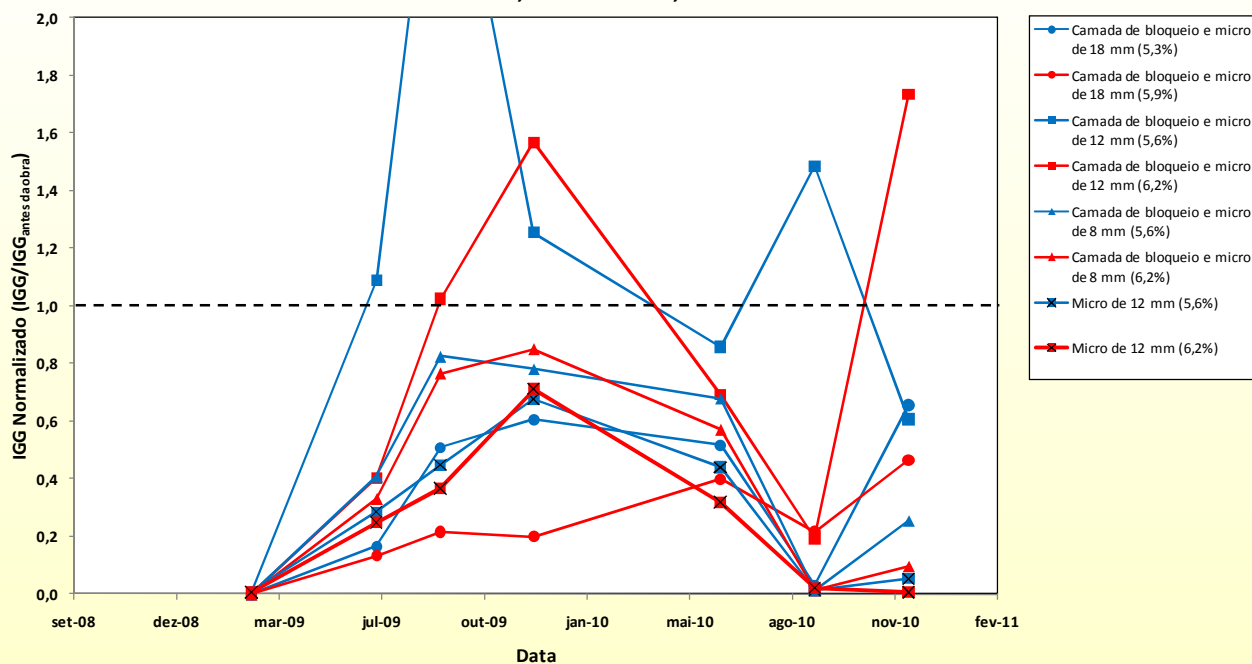
**Autopista
Fernão Dias**
OHL Brasil



Condição da Superfície dos Pavimentos

BR-381 - Pista Sul

Trecho 1 - km 61,400 ao km 63,400 - Faixa 02



Observa-se que as tendências observadas para o trecho 1 norte são parecidas com as tendências observadas no trecho 1 sul. Os gráficos acima exibem valores de IGG, em geral, inferiores para os segmentos com teor de asfalto abaixo do teor ótimo, ou seja, teor de 5,6% para este caso.

Os resultados obtidos para os trechos com solução de camada de bloqueio mais 12mm de micro revestimento não foram levados em consideração por se tratar de um trecho que teve problemas com drenagem e que sofreu intervenções para correção da mesma no início do estudo, o que influencia diretamente nos valores de IGG.

Além disso, pode-se constatar que os valores de IGG diminuem com o acréscimo de espessura de micro revestimento após a camada de bloqueio. Contudo, a solução com 8mm de micro revestimento se mostrou não adequada, pois as condições de IGG atingiram rapidamente os valores antes da obra.

Vale destacar que os valores de IGG para o trecho em questão retornaram a valores próximos dos originais, ou seja, IGG normalizado igual a 1, em aproximadamente 1 ano após a obra de recuperação dos pavimentos, o que resultou em campanhas de manutenção que ocorreram nos pavimentos já que os mesmos se encontravam em condições péssimas e necessitavam de correções para garantir a segurança do usuário. Portanto, os valores de IGG baixos a partir de Dezembro de 2010 são resultado das campanhas de manutenção dos pavimentos.

Finalmente, observa-se que os valores de IGG para a solução de micro sem a camada de bloqueio são piores que os valores das demais soluções exceto para a solução de camada de bloqueio mais 8mm de micro revestimento. A solução com melhor desempenho foi a solução de camada de bloqueio com 18mm de micro revestimento asfáltico com teor ótimo de asfalto.

Apresentam-se a seguir os gráficos de índice de gravidade global (IGG) e IGG normalizado para a faixa externa do trecho 2 norte, segmento em planalto que se estende do km 58,0 ao km 57,0.



Condição da Superfície dos Pavimentos

Rodovia: BR-381

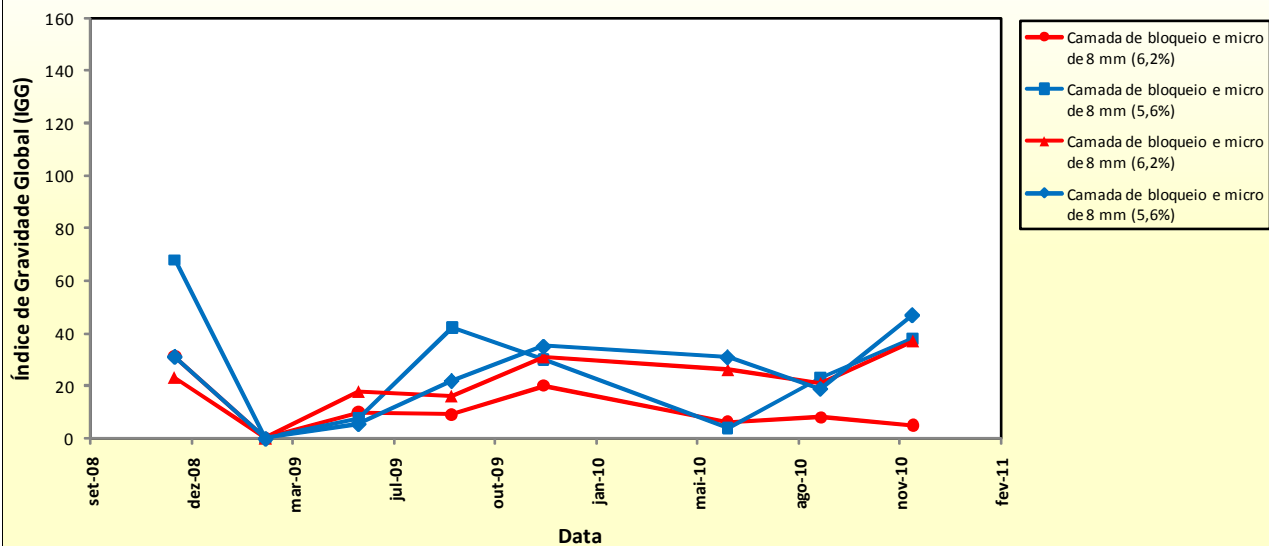
Sentido: Pista Norte - Decrescente

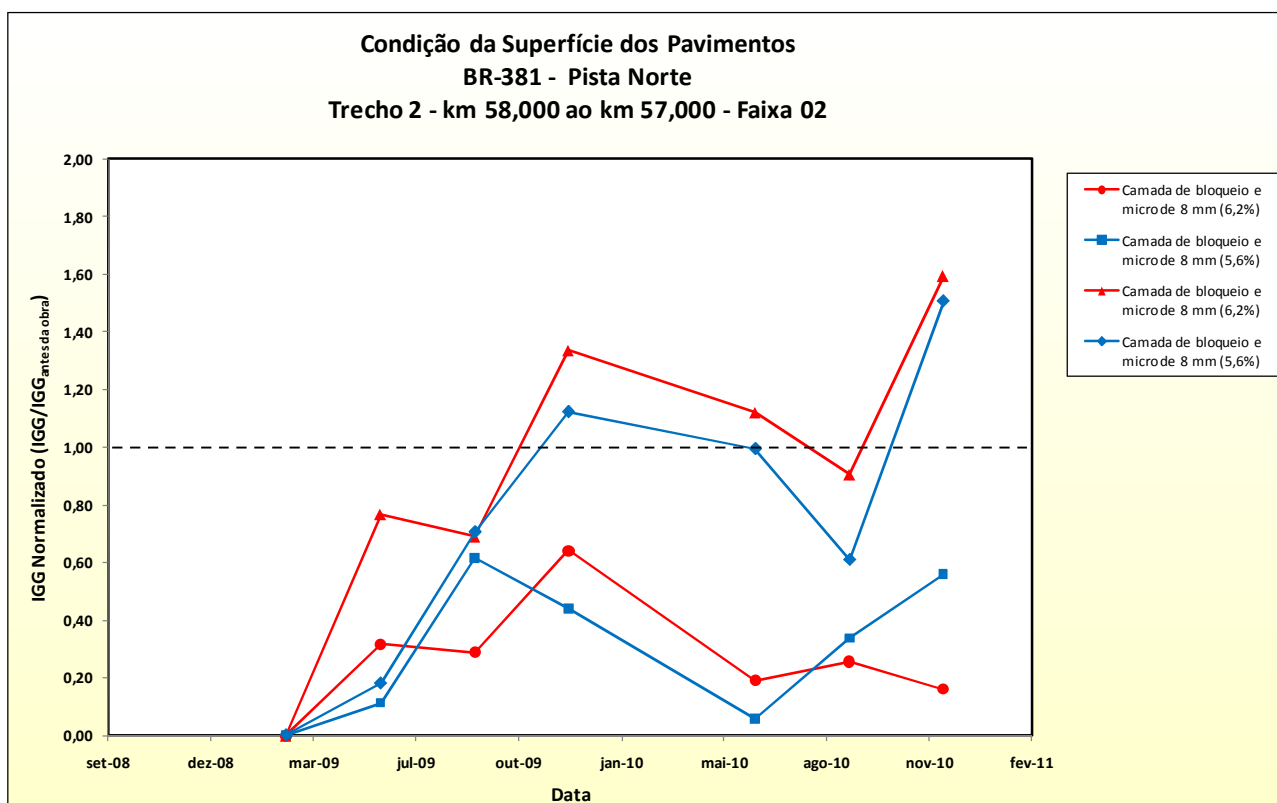
Segmento: Trecho 2 - km 58,0 ao km 57,0

Faixa: 02



**Autopista
Fernão Dias**
OHL Brasil





Pode-se observar pelos gráficos acima que os valores de IGG são, em geral, inferiores para os segmentos com teor de asfalto abaixo do teor ótimo, ou seja, teor de 5,6% para o caso de camada de bloqueio e micro de 8mm.

Vale ressaltar que 50% dos valores de IGG para o trecho em questão retornaram a valores próximos dos originais, ou seja, IGG normalizado igual a 1, em aproximadamente 1 ano após a obra de recuperação dos pavimentos. Contudo, como os valores iniciais de IGG já eram relativamente baixos quando comparados com os trechos de serra, não precisou-se de uma campanha pesada de manutenção para manter a via com condições de segurança adequadas já que os valores de IGG se encontravam abaixo de 60.

Destaca-se que dois dos quatros segmentos de solução de camada de bloqueio mais 8mm de micro revestimento asfáltico atingiram patamares de IGG iguais aos valores antes da obra. Para estes trechos, constata-se que a deflexão média para esses dois segmentos é consideravelmente maior que as deflexões médias para os demais segmentos conforme a tabela a seguir:

KM inicial	KM final	D	σ	Dc	IGG norm
57,00	57,25	23,8	8,9	32,7	0,16
57,25	57,50	24,0	13,7	37,7	0,56
57,50	57,75	40,2	13,1	53,4	1,59
57,75	58,00	42,7	11,5	54,2	1,51

Onde:

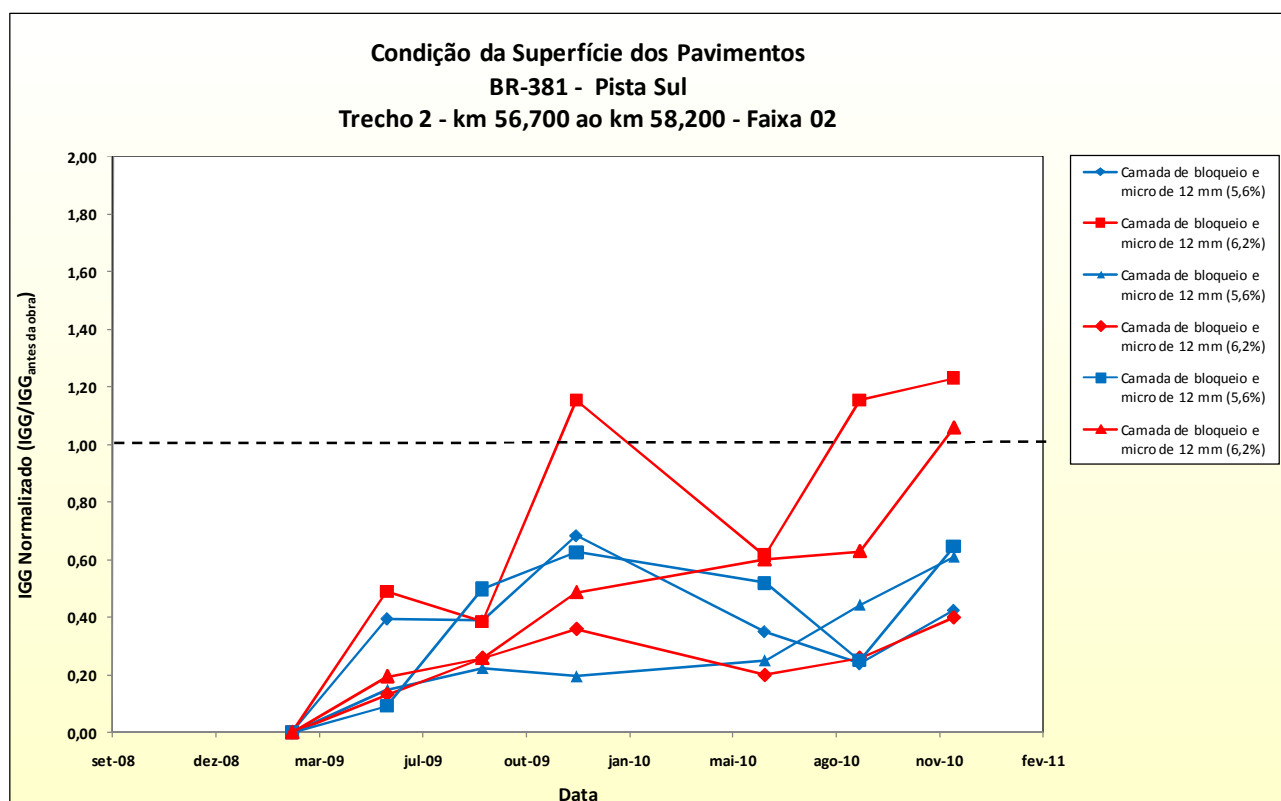
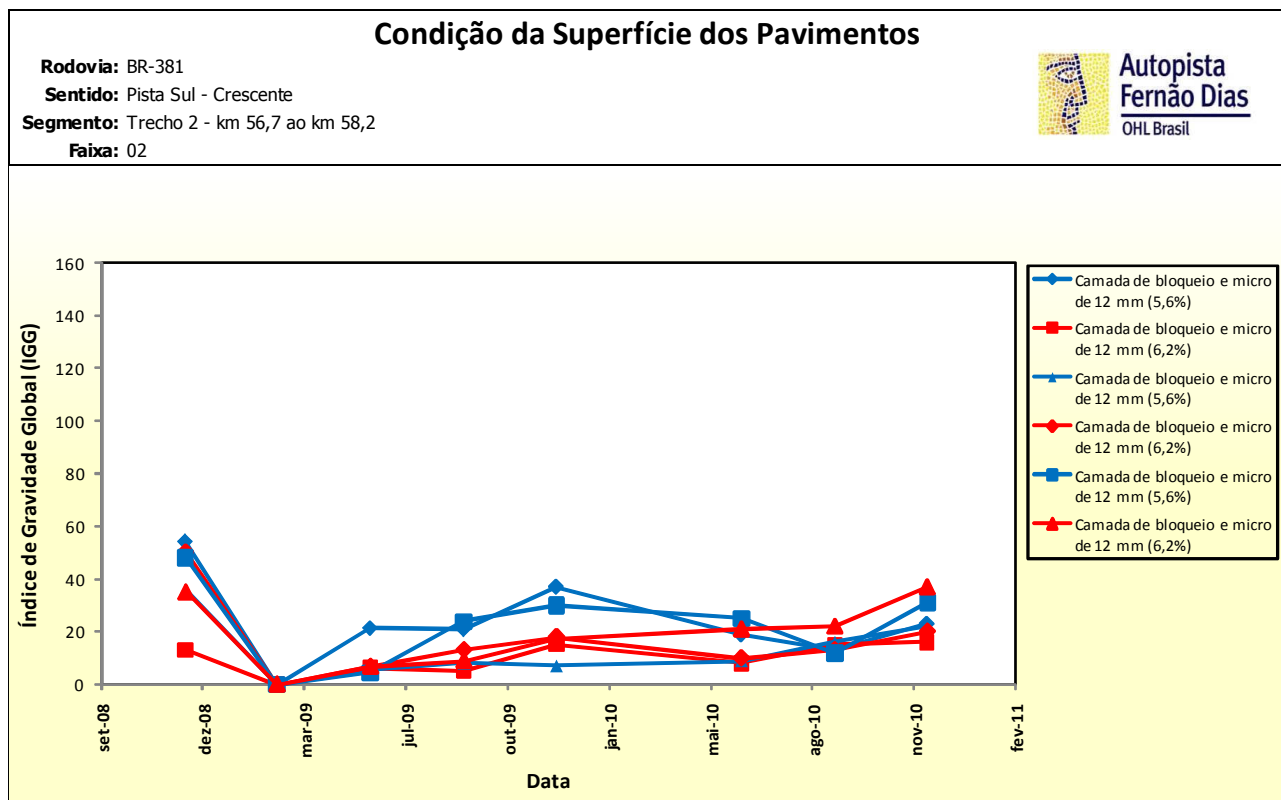
D = deflexão média para o segmento;

σ = desvio padrão;



Dc = deflexão característica do segmento.

Apresentam-se a seguir os gráficos de índice de gravidade global (IGG) e IGG normalizado para a faixa externa do trecho 2 sul, segmento também em planalto que se estende do km 56,7 ao km 58,2.



Pode-se observar pelos gráficos acima que os valores de IGG são, em geral, inferiores para os segmentos com teor de asfalto abaixo do teor ótimo, ou seja, teor de 5,6% para o caso de camada de bloqueio e micro de 8mm.

Vale ressaltar que 33% dos valores de IGG para o trecho em questão retornaram a valores próximos dos originais, ou seja, IGG normalizado igual a 1, em aproximadamente 2 anos após a obra de recuperação dos pavimentos. Contudo, como os valores iniciais de IGG já eram relativamente baixos quando comparados com os trechos de serra, não precisou-se de uma campanha pesada de manutenção para manter a via com condições de segurança adequadas já que os valores de IGG se encontravam abaixo de 40.

Destaca-se que somente dois dos seis segmentos de solução de camada de bloqueio mais 8mm de micro revestimento asfáltico atingiram patamares de IGG iguais aos valores antes da obra. Para estes trechos, constata-se que a deflexão média para o trecho do km 56,950 ao km 57,200 é consideravelmente maior que as deflexões médias para os demais segmentos conforme a tabela a seguir:

KM inicial	KM final	D	σ	Dc	IGG norm
56,70	56,95	11,4	2,4	13,8	0,43
56,95	57,20	20,2	7,3	27,6	1,23
57,20	57,45	16,5	12,7	29,3	0,61
57,45	57,70	13,8	6,8	20,6	0,40
57,70	57,95	12,8	4,0	16,8	0,65
57,95	58,20	12,2	4,9	17,1	1,06

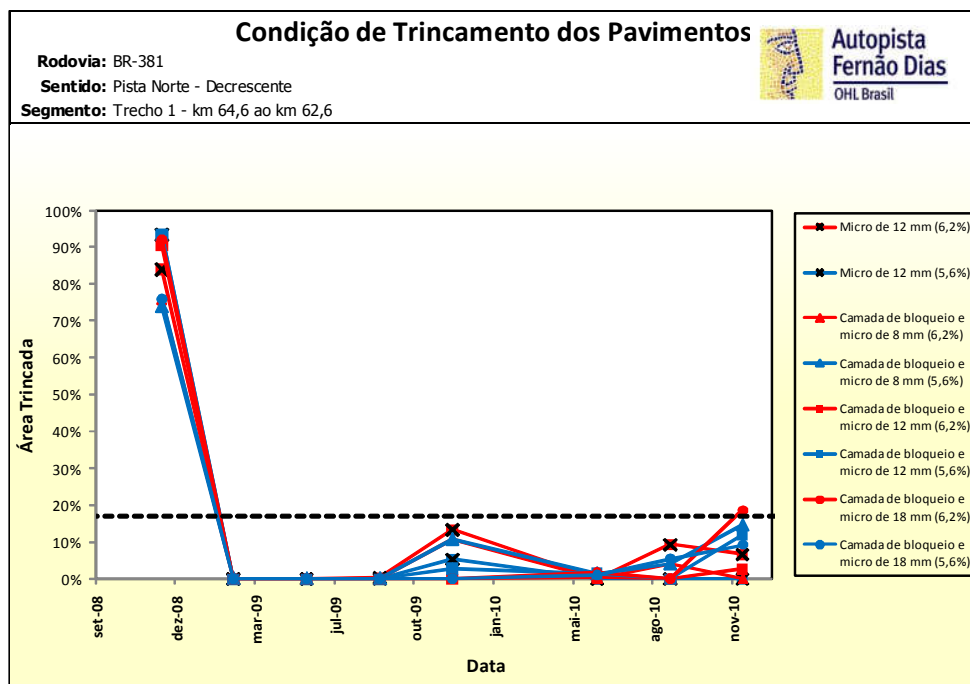
Pode-se notar também que os pavimentos inseridos na pista sul do trecho 2 exibiram comportamento superior aos pavimentos da pista norte, já que os valores de IGG chegaram a patamares parecidos com os valores antes das obras somente após 2 anos após as obras. Contudo, as deflexões destes trechos são inferiores às deflexões da pista norte e os valores iniciais também se encontravam inferiores.

Conforme destacado anteriormente, os trechos em planalto (trecho 2) exibem tendências distintas dos trechos em serra (trecho 1). Deve-se levar em consideração que as estruturas para os trechos em planalto exibiam comportamento íntegro (deflexão baixa), enquanto as estruturas para os trechos em serra já exibiam comportamento de um pavimento deteriorado. Portanto, não se pode concluir se o melhor comportamento das soluções para os trechos em planalto é resultado da geometria da via ou da boa capacidade estrutural dos pavimentos. Além disso, os valores de IGG iniciais para os trechos em serra já se encontravam bastante altos (condições de superfície péssimas).

7.12.2. Trincamento

As evoluções das condições de trincamento dos pavimentos, em termos de trincas classe 2 e classe 3, são apresentadas a seguir para cada segmento das pistas experimentais, visto que os processos de deterioração podem se mostrar distintos nas pistas em região serrana (trecho 1) e nas pistas em região plana (trecho 2). A codificação empregada foi à mesma do que para o item anterior.

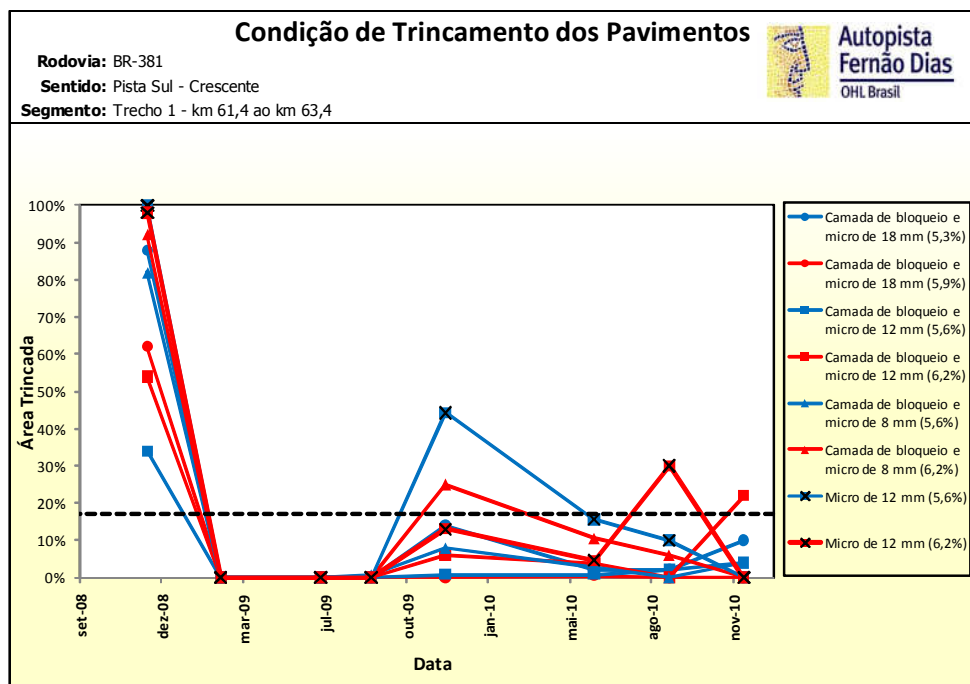
Apresenta-se a seguir o gráfico de área trincada para o pavimento do trecho 1 norte, segmento em serra que se estende do km 64,6 ao km 62,6. A linha tracejada representa uma área trincada de 17%, sendo este o limite de porcentagem de área trincada conforme estabelecido pelo PER da concessão.



De acordo com o gráfico acima, nenhuma das soluções estudadas exibe área de trincamento (%FC2 + %FC3) acima do limite de 17% para a rodovia em questão durante o período estudado, exceto a solução de camada de bloqueio mais micro de 18 mm com teor de asfalto no teor ótimo após 2 anos desde a execução das obras. Contudo, vale ressaltar que obras de manutenção foram executadas entre os meses de Dezembro de 2009 e Junho de 2010, conforme relatado anteriormente. Assim, as soluções estudadas foram efetivas como película redutora de trincas por aproximadamente um ano.

Observa-se também que as soluções de camada de bloqueio e micro de 8mm e as soluções de micro de 12mm sem camada de bloqueio foram as soluções com pior desempenho dentre as soluções estudadas neste trecho.

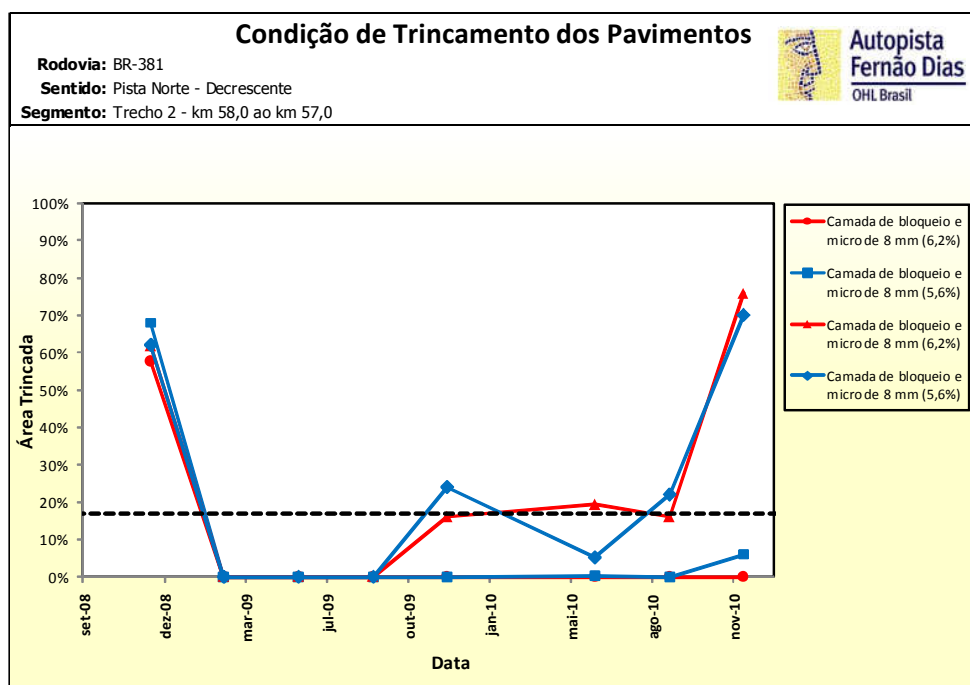
Apresenta-se a seguir o gráfico de área trincada para o pavimento do trecho 1 sul, segmento em serra que se estende do km 61,4 ao km 63,4.



De acordo com o gráfico acima, as únicas soluções estudadas que exibem área de trincamento (%FC2 + %FC3) acima do limite de 17% para a rodovia em questão durante o período estudado, foram as soluções de camada de bloqueio mais micro de 8 mm com teor de asfalto no teor ótimo e camada de micro de 12mm sem camada de bloqueio e teor de asfalto abaixo do teor ótimo, sendo que as mesmas ultrapassaram os limites após 1 ano desde a execução das obras. Contudo, vale ressaltar que obras de manutenção foram executadas entre os meses de Dezembro de 2009 e Junho de 2010, conforme relatado anteriormente. Assim, as soluções estudadas foram efetivas como película redutora de trincas por aproximadamente um ano.

Observa-se também que as soluções de camada de bloqueio e micro de 8mm e as soluções de micro de 12mm sem camada de bloqueio foram as soluções com pior desempenho dentre as soluções estudadas neste trecho.

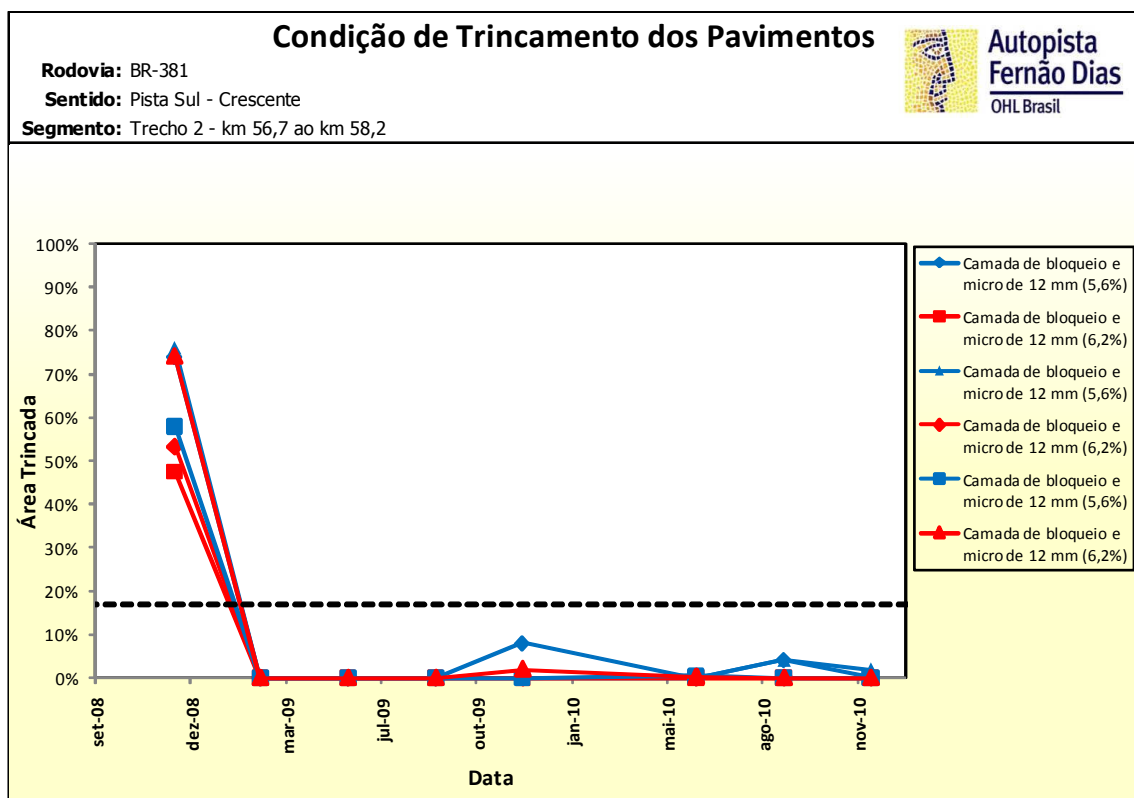
Apresenta-se a seguir o gráfico de área trincada para o pavimento do trecho 2 norte, segmento em planalto que se estende do km 58,0 ao km 57,0.



De acordo com o gráfico acima, duas das quatro soluções estudadas para o trecho em questão exibiram área de trincamento (%FC2 + %FC3) acima do limite de 17% para a rodovia em questão após 1 ano desde a execução das obras. Contudo, conforme relatado anteriormente, os dois segmentos que tiveram o desempenho não adequado são os trechos que exibiram condições deflectométricas aquém das condições desejáveis para o tráfego solicitante para a rodovia em questão.

Observa-se também que as porcentagens de área trincada são inferiores para os segmentos com teor de asfalto igual ao teor ótimo, ou seja, teor de 6,2% para o caso de camada de bloqueio e micro de 8mm.

Apresenta-se a seguir o gráfico de área trincada para o pavimento do trecho 2 sul, segmento em planalto que se estende do km 56,7 ao km 58,2.



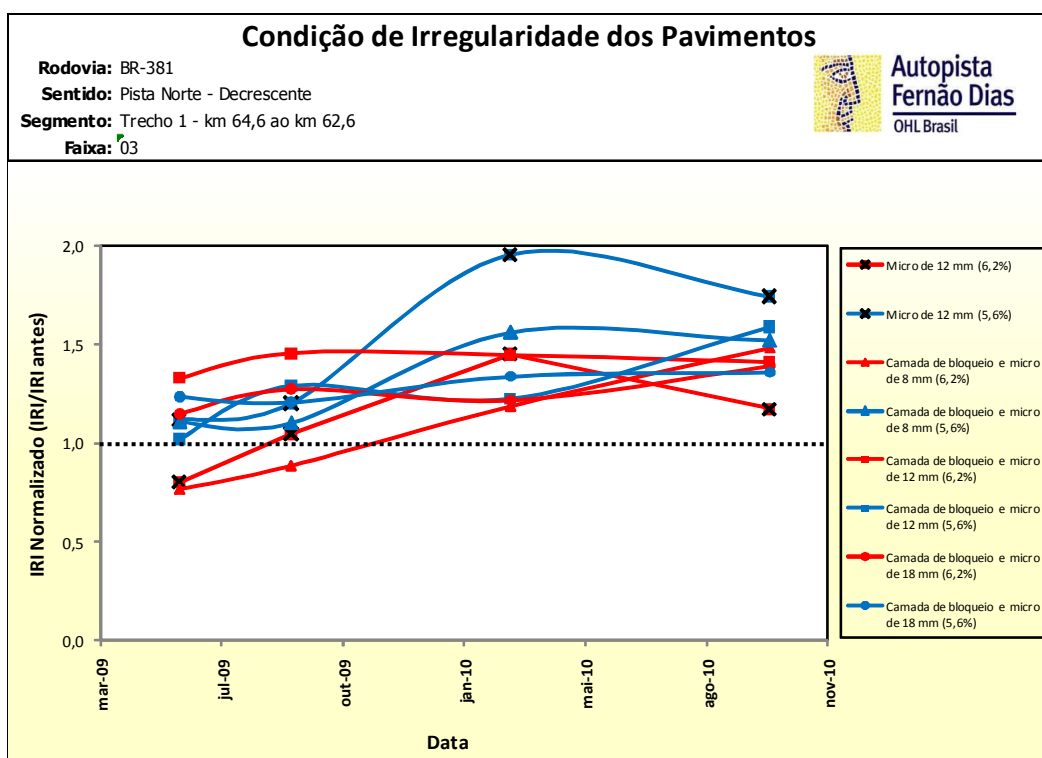
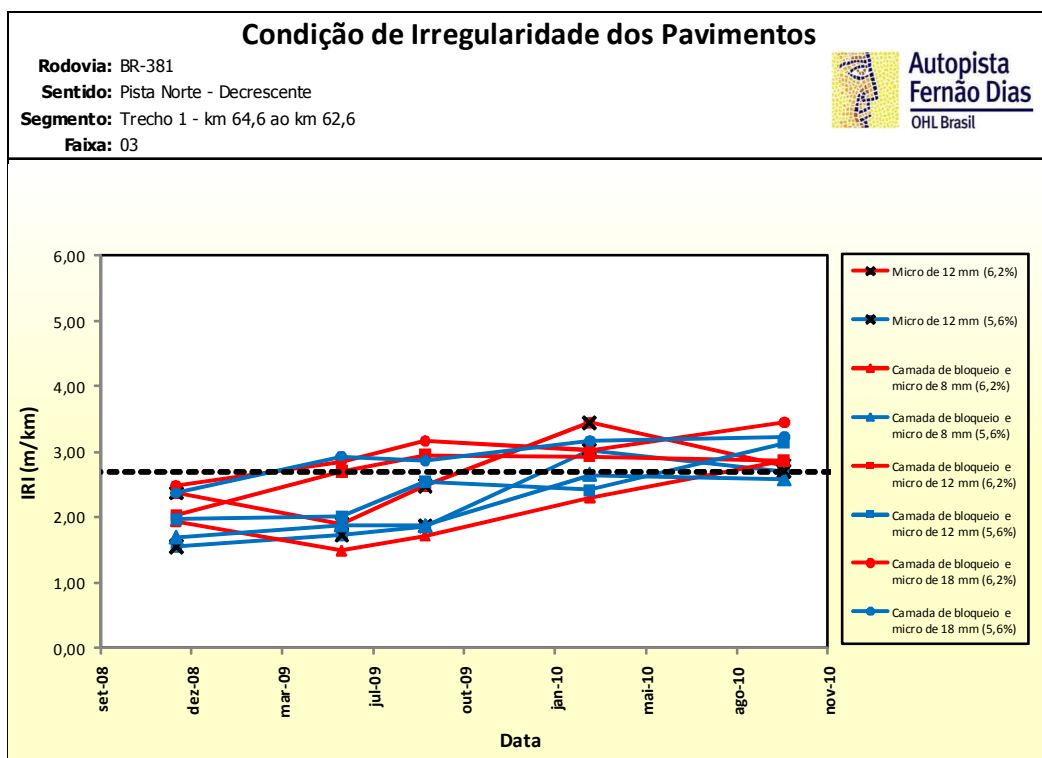
De acordo com o gráfico acima, nenhuma das seis soluções estudadas para o trecho em questão exibiram área de trincamento (%FC2 + %FC3) acima do limite de 17% para a rodovia em questão após 2 anos desde a execução das obras. Como não houve campanhas de manutenção pesada para os segmentos em questão, constata-se que a solução de micro de 12mm com camada de bloqueio foi efetiva como película redutora de trincas para todos os segmentos estudados no trecho em questão durante o período estudado (aproximadamente 2 anos).

Observa-se também que as porcentagens de área trincada são inferiores para os segmentos com teor de asfalto igual ao teor ótimo, ou seja, teor de 6,2% para o caso de camada de bloqueio e micro de 8mm.

• CONDIÇÕES DE CONFORTO DOS PAVIMENTOS (IRI)

As evoluções das condições de irregularidade longitudinal dos pavimentos, em termos de IRI e indicativos das condições de conforto dos pavimentos, são apresentados a seguir para cada segmento das pistas experimentais. A codificação empregada foi a mesma do que para os itens anteriores.

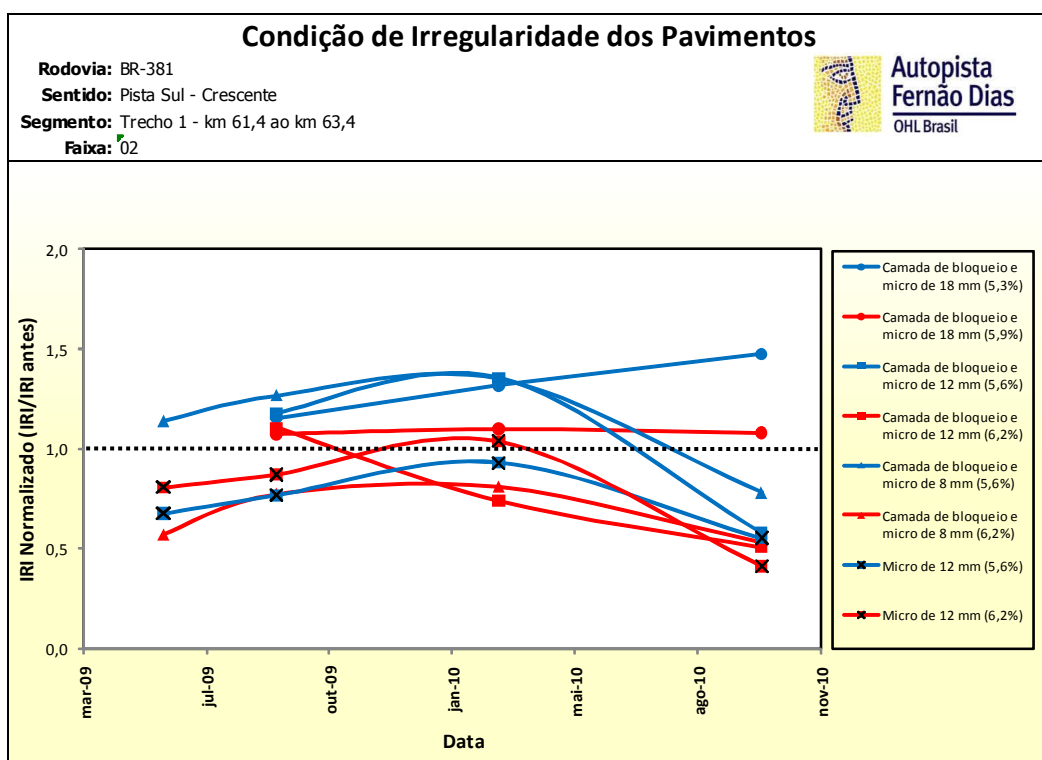
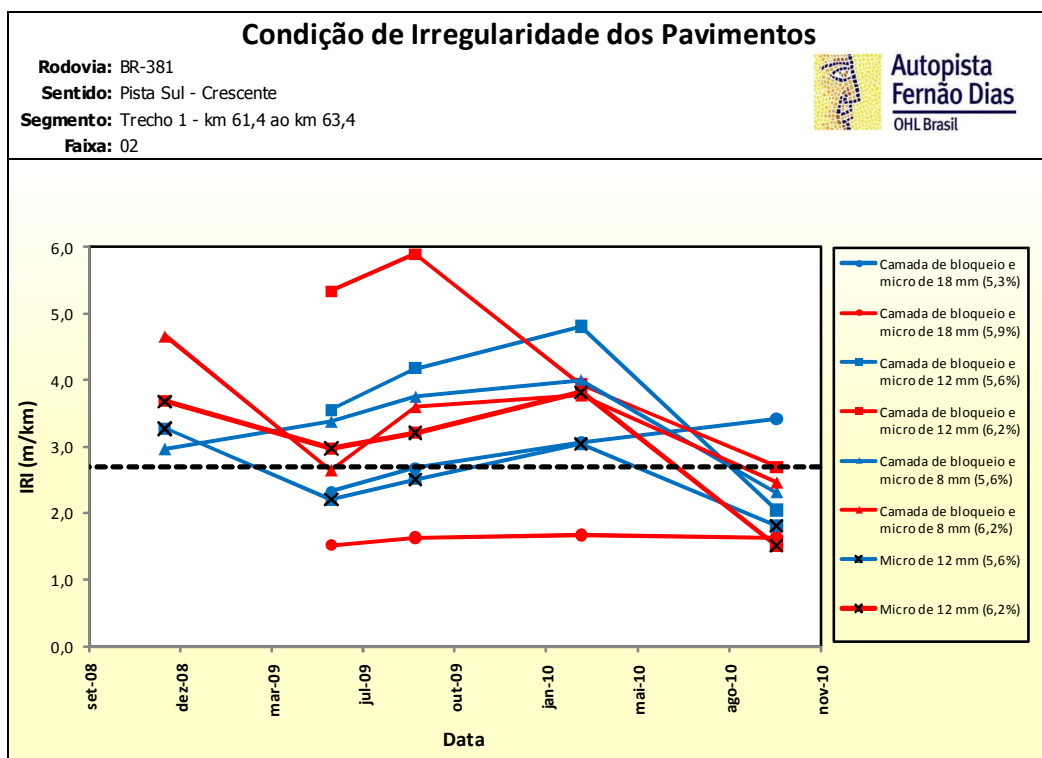
Apresenta-se a seguir o gráfico de irregularidade longitudinal (IRI) e IRI normalizado (IRI/IRI antes das obras) para o pavimento do trecho 1 norte, segmento em serra que se estende do km 64,6 ao km 62,6. A linha tracejada representa um IRI de 2,7 m/km, sendo este o limite de irregularidade longitudinal após a recuperação dos pavimentos conforme estabelecido pelo PER da concessão.



Observa-se pelos gráficos acima que todas as soluções estudadas exibiram valores de IRI após as obras maiores que os valores antes das obras, exceto para as soluções de micro de 8mm com camada de bloqueio e micro de 12mm sem camada de bloqueio ambas no teor ótimo de asfalto. Além disso, a maior parte dos trechos atingiu o limite de irregularidade de 2,7 m/km antes de dois anos após as obras.

As soluções com teores de asfalto mais ricos, ou seja, no teor ótimo de asfalto demonstraram valores de IRI, em geral, superiores às soluções com teores de asfalto abaixo do teor ótimo inicialmente e o contrário após 1 ano depois das obras.

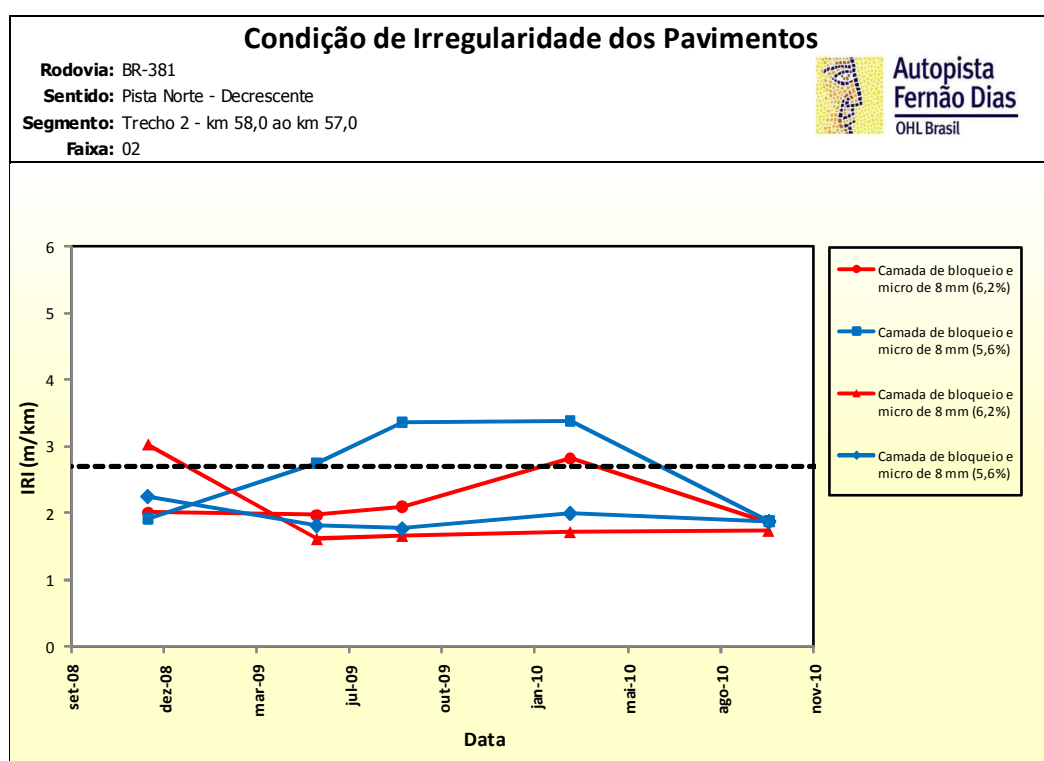
Apresenta-se a seguir o gráfico de irregularidade longitudinal (IRI) e IRI normalizado (IRI/IRI antes das obras) para o pavimento do trecho 1 sul, segmento em serra que se estende do km 61,4 ao km 63,4.

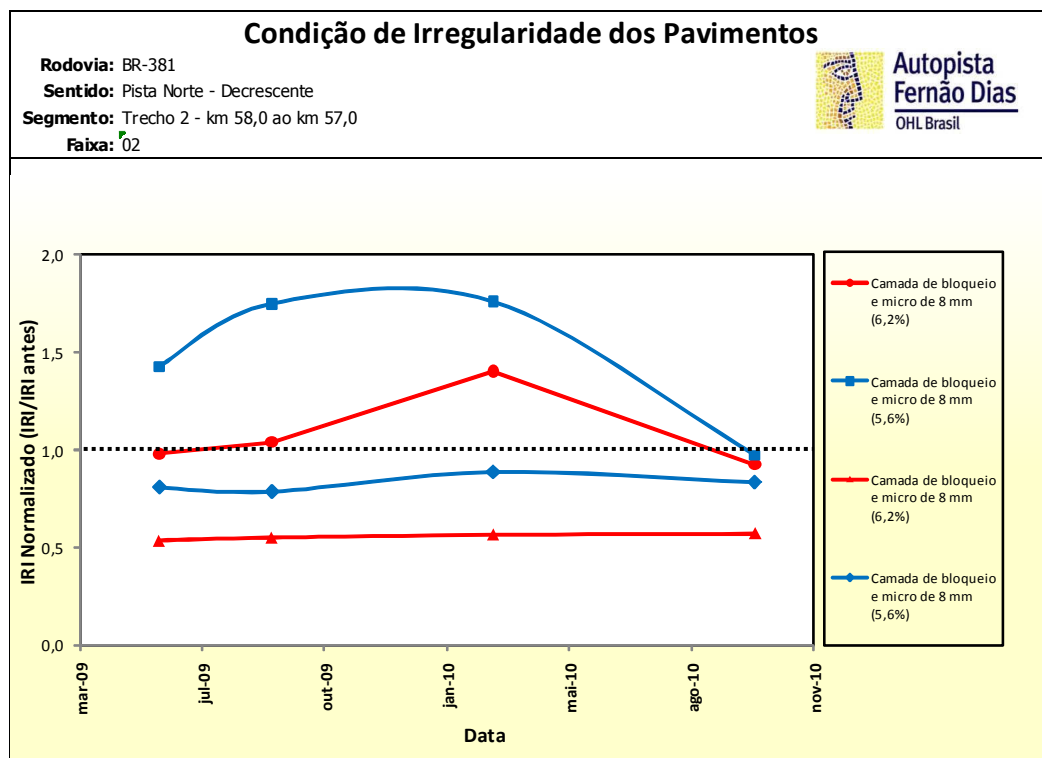


Observa-se pelos gráficos acima que mais de 50% das soluções estudadas exibiram valores de IRI após as obras maiores que os valores antes das obras. As soluções de micro de 8mm com camada de bloqueio no teor ótimo de asfalto e micro de 12mm sem camada de bloqueio tanto abaixo como no teor ótimo de asfalto reduziram o IRI inicialmente, mas retornaram ao valor original em aproximadamente 1 ano decorrido.

As soluções com teores de asfalto mais ricos, ou seja, no teor ótimo de asfalto demonstraram valores de IRI, em geral, inferiores às soluções com teores de asfalto abaixo do teor ótimo.

Apresenta-se a seguir o gráfico de irregularidade longitudinal (IRI) e IRI normalizado (IRI/IRI antes das obras) para o pavimento do trecho 2 norte, segmento em planalto que se estende do km 58,0 ao km 57,0.

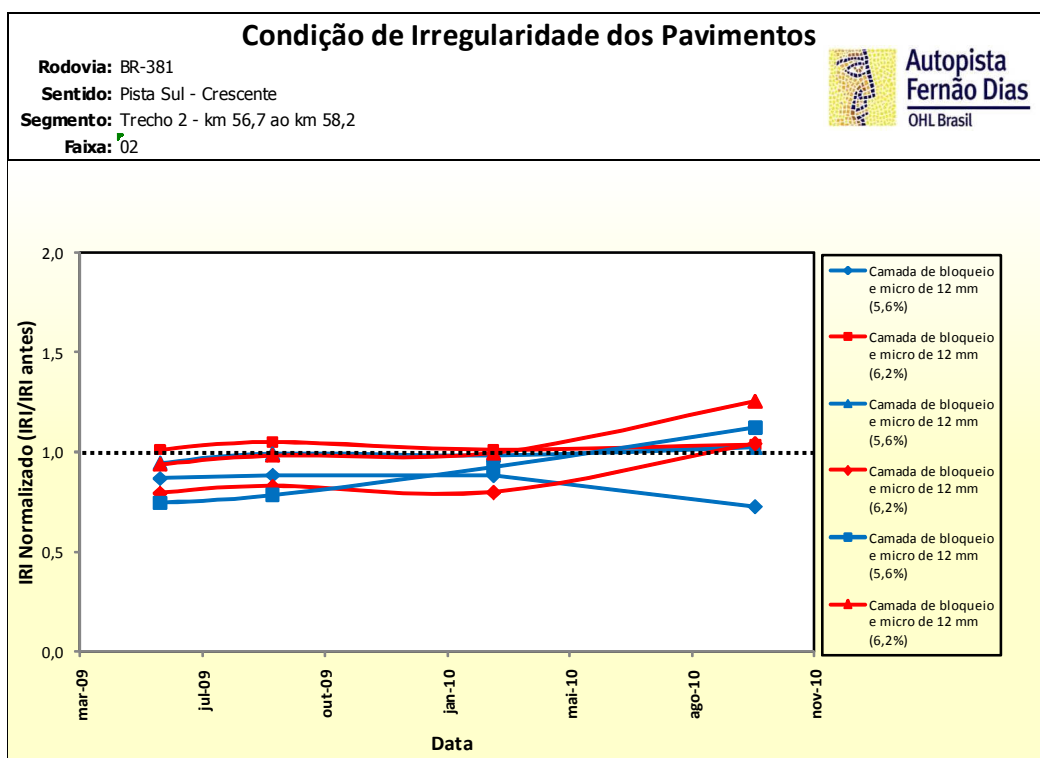
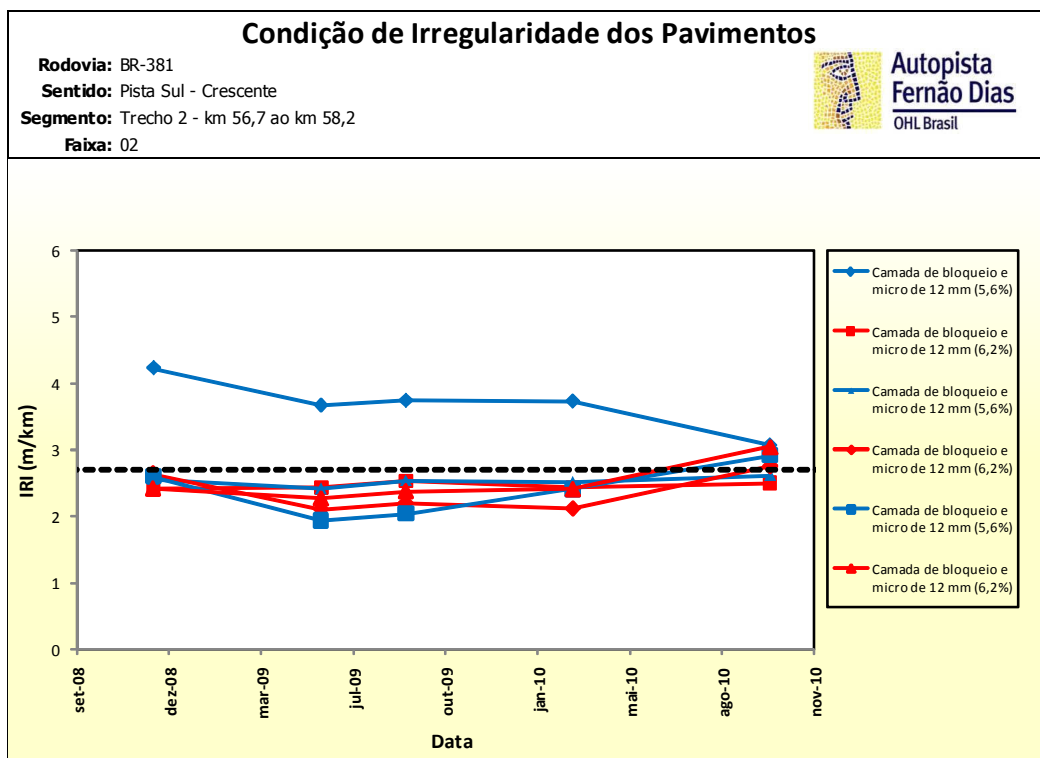




Observa-se pelos gráficos acima que 50% das soluções estudadas exibiram valores de IRI após as obras maiores que os valores antes das obras, sendo que as duas soluções que não apresentaram nenhuma redução inicial de IRI após as obras são os trechos com problemas deflectométricos. Além disso, as duas soluções que reduziram o IRI inicialmente o mantiveram relativamente estável ao longo dos dois anos de estudo.

As soluções com teores de asfalto mais ricos, ou seja, no teor ótimo de asfalto demonstraram valores de IRI, em geral, inferiores às soluções com teores de asfalto abaixo do teor ótimo.

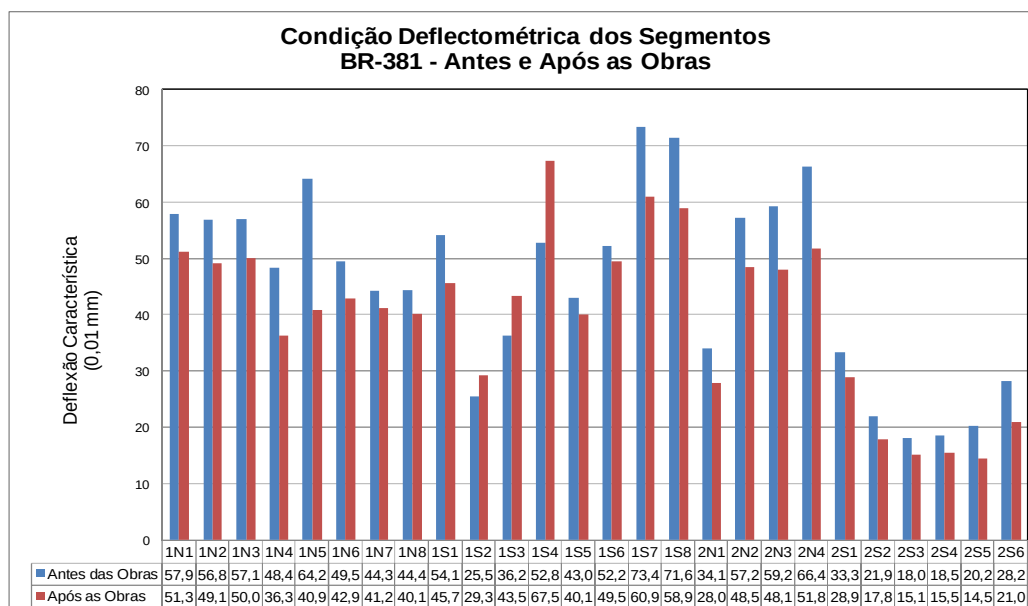
Apresenta-se a seguir o gráfico de irregularidade longitudinal (IRI) e IRI normalizado (IRI/IRI antes das obras) para o pavimento do trecho 2 sul, segmento em planalto que se estende do km 56,7 ao km 58,2.



Observa-se pelos gráficos acima que apenas uma solução estudada exibiu valor de IRI após as obras parecido com o valor antes das obras, sendo que as demais soluções apresentaram uma redução inicial de IRI após as obras. As soluções com teores de asfalto mais pobres, ou seja, abaixo do teor ótimo de asfalto demonstraram valores de IRI, em geral, inferiores às soluções com teores de asfalto abaixo do teor ótimo.

- **CONDIÇÕES DEFLECTOMÉTRICAS DOS PAVIMENTOS**

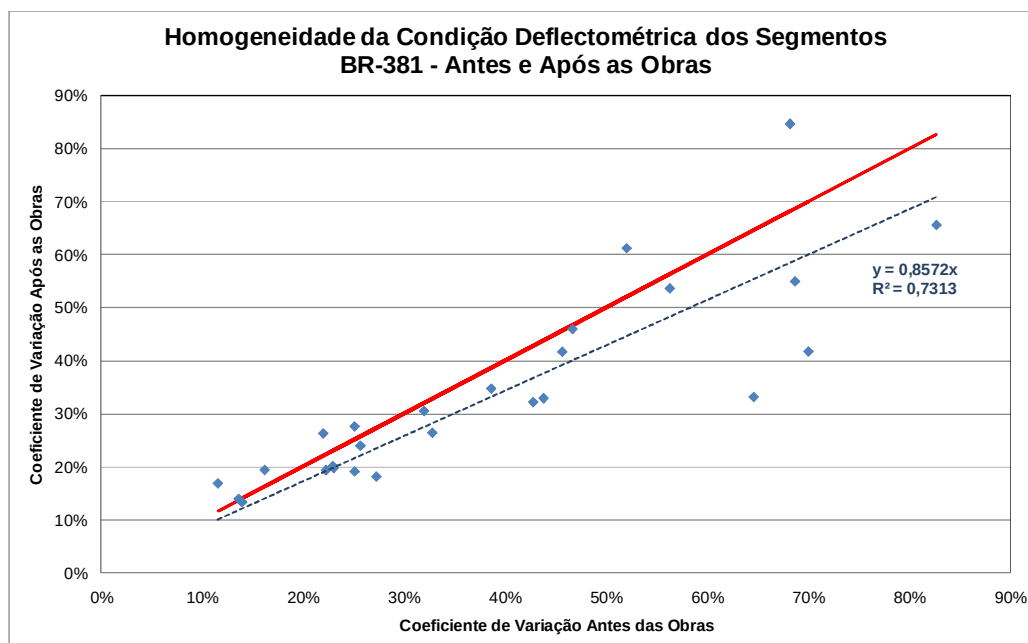
A condição deflectométrica dos segmentos antes e após as obras é apresentada no gráfico a seguir para todos os segmentos em questão.



O gráfico de deflexão acima para os trechos em questão exibe, em geral, uma leve redução de deflexão para os trechos estudados. Contudo, as deflexões para o a pista sul do trecho em serra sofreram um aumento após as obras, mas deve-se levar em consideração que este trecho apresentava problemas de drenagem e precisou sofrer intervenções para correção da mesma.

O gráfico apresentado a seguir compara o coeficiente de variação das deflexões antes das obras com o coeficiente de variação das deflexões após as obras. O coeficiente de variação é calculado a partir do desvio padrão e média de cada segmento (desvio sobre a média), podendo-se analisar a homogeneidade das condições deflectométricas para os trechos em questão.

A linha vermelha representa à condição onde o coeficiente de variação antes da obra é igual ao coeficiente depois das obras, sendo a linha tracejada a tendência para os dados obtidos.



Pode-se observar pelos dados acima que a homogeneidade da condição deflectométrica dos segmentos é melhor para as condições após as obras já que, para um dado coeficiente de variação antes das obras, o coeficiente de variação após as obras é inferior de acordo com a linha de tendência apresentada.

7.13 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo teve como objetivo avaliar a vida útil da solução de micro revestimento a frio, com distintas técnicas executivas e teores asfálticos, como película redutora de reflexão de trincas, visando reduzir custos de investimentos em recuperação da rodovia.

Para tanto verificou-se o comportamento de distintas camadas de micro revestimento considerando as diferentes condições existentes na camada subjacente, desde pavimentos totalmente trincados (trincas classe FC-3) até outros com trincas leves (trincas classe FC-1).

Observa-se que a técnica de recuperação empregada foi a de micro revestimento a frio com emulsões polimerizadas, atendendo a especificações particulares quanto ao projeto da mistura do ligante. A opção pela execução de misturas a frio com emulsão modificada por polímero se deu em função de sua flexibilidade.

Assim, pode-se tirar as seguintes conclusões acerca dos resultados obtidos no decorrer dos dois anos de pesquisa:

- Os trechos em serra (trecho 1) encontravam-se em pior condição de superfície antes da obra;
- Após as obras todos os segmentos avaliados se encontravam em boas condições;
- Nos trechos em serra os defeitos evoluem mais rápido do que os demais trechos;

- As condições de superfície aparentam evoluir em função das condições observada antes da obra, já que as condições dos trechos em serra, que se encontrava em pior estado antes da obra, voltaram às condições iniciais em apenas seis meses;
- Aumento de espessura de micro revestimento asfáltico resulta em um ganho em vida útil;
- A solução de micro revestimento de 8mm de espessura não foi efetiva dentro das premissas estudadas;
- A camada de bloqueio se mostrou um complemento efetivo para a solução de micro revestimento, havendo ganhos quanto à redução reflexão de trincas e evolução de defeitos na pista;
- Constatou-se uma homogeneização da condição estrutural (C.V.) após a execução das obras.
- Constatou-se também a importância da drenagem do pavimento, já que os segmentos onde a drenagem não foi adequada antes da execução das obras se mostraram os segmentos com pior desempenho quanto às condições de irregularidade, deflexão e condições de superfície;
- Os pavimentos com soluções com teor de asfalto no teor ótimo de asfalto exibiram, em geral, melhor desempenho que os pavimentos com soluções com teor abaixo do ótimo.

Por fim, com base nos resultados encontrados e as conclusões tiradas, recomenda-se como futuros estudos o estudo da interferência da geometria e das condições deflectométricas dos pavimentos nas soluções estudadas de camada de bloqueio com micro revestimento asfáltico, já que o presente estudo não permitiu individualizar a interferência dos mesmos por não fazer parte do escopo da pesquisa.