

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

RELATÓRIO FINAL

**EMPREGO DE PERFIS DE FIBRAS DE CARBONO NA RECUPERAÇÃO DE PLACAS DE
CONCRETO FISSURADAS**

CCR NovaDutra

08/07/2021

SUMÁRIO

1 DESCRIÇÃO DO PROJETO	3
1.1 TÍTULO	3
1.2 RESUMO	3
1.3 PALAVRAS CHAVE	3
1.4 JUSTIFICATIVA.....	3
1.5 OBJETIVOS	4
1.5.1 Objetivo geral.....	4
1.5.2 Objetivos específicos	4
1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	5
1.7 PERÍODO DE EXECUÇÃO.....	5
1.8 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	5
1.9 LOCAL DE EXECUÇÃO.....	5
1.10 EQUIPE EXECUTORA	6
2 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS.....	6
3 ETAPAS	8
3.1 ETAPA A	8
3.2 ETAPA B.....	9
3.3 ETAPA C.....	12
3.4 ETAPA D	15
4 CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS GERADOS.....	21
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
6 ANEXOS.....	23
ANEXO A	24

1 DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1 Título

Emprego de perfis de fibras de carbono na recuperação de placas de concreto fissuradas

1.2 Resumo

O pavimento rígido apresenta no decorrer dos anos defeitos que devem ser restaurados de modo a reduzir a deterioração. No entanto, as atividades de restauração usualmente implicam na demolição e reconstrução das lajes de concreto parcialmente ou em toda sua extensão. Este processo requer muito tempo na execução dos serviços, principalmente na cura do concreto que impactam na interdição da faixa de tráfego ocasionando congestionamentos. Para tanto, há alternativas para este tipo de intervenção, como o emprego de perfis de fibra de carbono juntamente com a aplicação da resina polimérica na selagem das fissuras, que promovem respectivamente um reforço estrutural no pavimento e impedem o ingresso de água reduzindo os riscos de bombeamento de finos. Além disso, o tempo de intervenção é menor, aumentando a segurança dos trabalhadores e usuários. Este estudo contempla o uso da técnica de perfis de fibras de carbono na recuperação de placas de concreto fissuradas em um trecho experimental da Rodovia Presidente Dutra (BR-116).

1.3 Palavras chave

Pavimento rígido; Perfis de fibra de carbono; Restauração de fissuras.

1.4 Justificativa

Tradicionalmente os pavimentos rodoviários são divididos em dois tipos clássicos: os pavimentos asfálticos ou flexíveis e os pavimentos de concreto ou rígidos. Os efeitos combinados de carregamento do tráfego veicular e as condições climáticas deterioraram, tanto os pavimentos flexíveis como os pavimentos rígidos com o decorrer do tempo, inclusive aqueles que foram muito bem projetados e construídos. As atividades de conservação e de manutenção consistem nas diversas técnicas utilizadas para reduzir e reverter esse processo de deterioração (Balbo, 2009).

Nos pavimentos rígidos, existem diversos defeitos que podem ser identificados visualmente, conforme indicado na Norma DNIT 061/2004 – TER: Pavimento Rígido – Defeitos – Terminologia. Dentre esses defeitos podem se destacar as fissuras, que usualmente são divididas em fissuras de canto, diagonais, transversais, longitudinais, superficiais e de retração plástica.

Algumas das técnicas de conservação e manutenção mais comuns em pavimento rígido consistem na selagem de fissuras, selagem das juntas, tratamentos superficiais e reparos localizados, as quais auxiliam

na redução da taxa de deterioração do pavimento, sempre e quando sejam identificadas as deficiências que induziram o surgimento dos defeitos. Já as atividades de restauração usualmente implicam na demolição e reconstrução das lajes de concreto em toda sua extensão.

Existem algumas alternativas para recuperar estruturalmente a placa de concreto, omitindo a necessidade de remoção do concreto. O emprego da técnica de perfis de fibras de carbono pode ser uma alternativa interessante para evitar a demolição do pavimento quando surgem fissuras nas placas de concreto, devido ao reforço estrutural fornecido pelas fibras de carbono à estrutura. Ao mesmo tempo, espera-se que a resina polimérica empregada sele as fissuras, impedindo o ingresso de água e elimine, por consequência, os riscos de bombeamento de finos.

Essa técnica de restauração com perfis de fibra de carbono ainda é escassa no Brasil e não existem estudos que demonstrem sua efetividade no reparo e controle de fissuras em placas de concreto de pavimentos rígidos. Dessa forma, este estudo visa comprovar a qualidade desta técnica, com base em sua aplicação em um trecho experimental para tratamento de fissuras de pavimento rígido.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o emprego de perfis de fibras de carbono na recuperação de placas de concreto fissuradas, por meio da sua aplicação em pavimentos de concreto na Rodovia Presidente Dutra (BR-116).

1.5.2 Objetivos específicos

Para poder atender ao objetivo geral deste estudo foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar a técnica de perfis de fibras de carbono em recuperação de pavimentos rodoviários de concreto;
- Determinar e identificar as situações para o emprego desta técnica;
- Executar a recuperação de placas fissuradas com a técnica de perfis de fibra de carbono em um segmento experimental da Rodovia Presidente Dutra;
- Monitorar o pavimento recuperado com esta técnica para avaliar o seu desempenho, por meio de levantamento visual e por levantamento deflectométrico com FWD (Falling Weight Deflectometer);
- Elaborar relatório final.

1.6 Organização do trabalho

Para atingir o objetivo geral e os objetivos específicos, a pesquisa será realizada em etapas, descritas na continuação.

- Etapa A) descrição dos materiais e da técnica;
- Etapa B) execução de um trecho experimental;
- Etapa C) monitoramento e avaliação;
- Etapa D) análise dos resultados e elaboração do relatório.

1.7 Período de execução

O estudo teve início em março de 2019 e término em janeiro de 2020.

1.8 Cronograma de execução

O cronograma físico-financeiro está apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Cronograma físico-financeiro da pesquisa.

Anexo W											
ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES SUPERINTENDÊNCIA DE EXPLORAÇÃO DA INFRA-ESTRUTURA RECURSOS PARA DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - RDT											
PLANO DE PESQUISA CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO											
ANEXO W Emprego de perfis de fibras de carbono na recuperação de placas de concreto fissuradas			2019								
			mar-19	abr-19	mai-19	jun-19	jul-19	ago-19	set-19	out-19	nov-19
ETAPA A) Descrição dos materiais e da técnica	CPR	6.767	4.728								
ETAPA B) Execução de um trecho experimental	CPR					3.246	3.246				
ETAPA C) Monitoramento e avaliação	CPR				6.493				7.040		20.574
	Terceira				8.700				6.200		14.900
ETAPA D) Análise dos Resultados e elaboração de relatórios	CPR									7.040	7.040
Total ANEXO W		6.767	4.728	-	15.193	3.246	3.246	-	13.240	-	14.081
											60.502

1.9 Local de execução

A pesquisa foi desenvolvida pelo Centro de Pesquisas Rodoviárias (CPR) da Concessionária CCR NovaDutra em trecho experimental da Rodovia Presidente Dutra (BR-116), na Pista Marginal Norte entre o km 218,900 ao 216,700 em Guarulhos.

1.10 Equipe executora

A pesquisa foi desenvolvida pela Equipe do Centro de Pesquisas Rodoviárias (C.P.R.) da Concessionária CCR NovaDutra, apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Equipe do Centro de Pesquisas Rodoviárias da CCR NovaDutra

Função	Título	Nome	Empresa
Engenheira/Coordenadora	Engenheira	Valéria C. de Faria	CPR-NovaDutra
Pesquisador	Doutor	Luis Miguel Gutiérrez Klinsky	CPR-NovaDutra
Engenheiro	Engenheira	Marcia Helena Leal	CPR-NovaDutra
Engenheiro	Engenheiro	Marcos Salles Chamouton	CPR-NovaDutra
Agente de Serviços de Engenharia III	Técnico Especial	Geraldo Pereira	CPR-NovaDutra
Agente de Serviços de Engenharia III	Técnico Especial	Antônio Donizete Leal	CPR-NovaDutra

2 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Os defeitos identificados no pavimento rígido são descritos em DNIT 061/2004 – TER: Pavimento Rígido – Defeitos – Terminologia, dentre eles destaca-se as fissuras no pavimento de concreto, por vez transversal, longitudinal, diagonal, etc. As técnicas usuais utilizadas para conservação e manutenção desta patologia auxiliam na redução da taxa de deterioração do pavimento. Enquanto que as atividades de restauração usualmente implicam na recomposição das placas de concreto para assegurar a qualidade do pavimento rígido.

Na ocorrência de fissuras transversais que ocasionam a divisão das placas, como mostra a Figura 1, é necessário reforçar estruturalmente a área afetada. Comumente é preciso remover o concreto próximo a área afetada e realizar a recomposição com materiais de alta qualidade e cura rápida, para liberação em curto prazo ao tráfego dos veículos.

Figura 1. Fissura transversal em pavimento rígido.



FONTE: DNIT 061/2004-TER.

Desse modo, a alternativa proposta para este estudo consiste na aplicação de perfis de fibras de carbono em um trecho experimental da Rodovia Presidente Dutra (BR-116), explicado na continuação.

Conforme apresentado na Figura 2, observa-se que é necessário realizar uma ranhura perpendicular à fissura transversal com auxílio de um disco de corte com a espessura adequada e em posições predeterminadas para a inserção da fibra de carbono no pavimento de concreto. Os sulcos assim obtidos, recebem resina epóxica para a colocação sucessiva dos perfis de fibras de carbono. Após a cura da resina, cerca de 2 a 4 horas, o pavimento pode ser liberado ao tráfego de veículos.

Figura 2. Aplicação de fibras de carbono na fissura transversal da placa de concreto.



O emprego desta técnica evita a demolição do pavimento quando surgem fissuras nas placas de concreto, devido ao reforço estrutural fornecido pelas fibras de carbono. Ao mesmo tempo, espera-se que a resina polimérica sele as fissuras, impedindo os riscos de bombeamento de finos.

A Rodovia Presidente Dutra (BR-116) possui 2 km de pavimento rígido na Pista Norte da Marginal de Guarulhos (SP), além das placas de concreto em praças de pedágios e balanças. Portanto, com a aplicação desta técnica pode-se avaliar o emprego de fibras de carbono nas atividades de restauração de pavimentos rígidos em um trecho experimental da Rodovia.

Para a realização do projeto foram determinadas etapas para melhor organização do estudo. Inicialmente foi feito a descrição dos materiais e técnicas para depois executar o método em um trecho experimental. E posteriormente, foi feito o monitoramento e avaliação da técnica por meio de levantamentos visuais de defeitos, conforme a Norma DNIT 060/2004 - PRO e também com o auxílio de um FWD (Falling Weigh Deflectometer), conforme a Norma DNIT 132/210 e o CAM (Crack Activity Meter). Com estes dados foram realizados a análise dos resultados e o relatório final.

3 ETAPAS

3.1 ETAPA A

Esta etapa consiste na Descrição dos Materiais e da Técnica.

Inicialmente foi realizado um estudo detalhado dos materiais que compõem a técnica de restauração de pavimentos de concreto com perfis de fibras de carbono, como descrito na continuação.

Os materiais empregados apresentam as seguintes características:

- Laminados de fibra de carbono:
 - S&P 150/2000 – 20x1,4mm;
 - Seção do laminado 28mm²;
 - Módulo de elasticidade: 168 kN/mm²;
 - Quantidade utilizada na placa de aproximadamente 6 x 3,5m entre 45 e 55m.
- Resina:
 - S&P 55;
 - Quantidade utilizada na placa: entre 12 e 18 kg;
 - Tempo de secagem aproximadamente de 2 a 4 horas a 25°C.

Posteriormente foi estudada a técnica de emprego de perfis de fibra de carbono e as etapas necessárias para a aplicação deste método, descritos a seguir.

O sistema de reforço, consiste na execução de ranhuras, perpendiculares à fissura existente, preenchidas com resina epóxica e colocação dos perfis de fibra de carbono. Conforme já mencionado, esta intervenção, tem como objetivo recuperar a estrutura da placa de concreto, aumentando sua vida útil, e impedindo a progressão das fissuras existentes e o aparecimento de novas fissuras.

Para a aplicação do sistema de reforço, foram seguidas as etapas descrevidas a seguir.

- Preparação da superfície: demarcação das linhas onde serão executadas as ranhuras;
- Corte das ranhuras: o corte deverá ser realizado com serra policorte com disco diamantado a seco com espessura e profundidade adequadas às dimensões do perfil de fibra de carbono a ser implantado;
- Limpeza da ranhura: parte fundamental para o sucesso da técnica, as ranhuras devem ser devidamente limpas com auxílio de soprador de ar;
- Verificação da profundidade das ranhuras: após a limpeza, procede-se a checagem da profundidade da ranhura, confirmando a profundidade mínima para aplicação do perfil;

- Limpeza dos perfis: para garantia da aderência dos perfis de fibras de carbono, estes devem ser limpos com álcool, eliminando sujeiras e gorduras;
- Aplicação da resina e inserção dos perfis: aplica-se diretamente na ranhura a resina epóxica e na sequência é inserido o perfil;
- Acabamento e liberação ao uso: após a inserção dos perfis, as fissuras devem ser novamente preenchidas com a mesma resina empregada para a colagem dos perfis e é realizado o desempeno da resina em toda a superfície. Após a cura da resina, cerca de 2 a 4 horas, o pavimento pode ser liberado ao tráfego de veículos.

Ainda nesta etapa foi verificado o procedimento para a identificação de pavimentos de concreto nos quais é recomendada a aplicação desta técnica.

A Rodovia Presidente Dutra (BR-116) apresenta Pavimento Rígido nas Praças de Pedágios, nas Balanças e na Pista Norte Marginal em Guarulhos.

A definição do trecho experimental se deu após a identificação dos defeitos existentes no pavimento rígido, limitadas às fissuras transversais e longitudinais, com ausência de movimentação vertical sob ação do tráfego (placa bailarina). Além disso, levou-se em consideração a dificuldade de intervenção de cada local devido a janelas de trabalho.

3.2 ETAPA B

Esta etapa compreende a Execução de um Trecho Experimental.

Nesta etapa foi aplicada a técnica de emprego de perfis de carbono em um segmento experimental na Rodovia Presidente Dutra, definido em função dos estudos realizados na Etapa “A” deste projeto.

A Rodovia Presidente Dutra (BR-116) possui 2 km de pavimento rígido na Pista Marginal em Guarulhos entre o km 218,900 ao 216,700 sentido São Paulo/Rio de Janeiro, próximo ao aeroporto de Guarulhos, local crítico, com dificuldades de interdição de longo prazo, o que inviabiliza uma demolição e reconstrução no local. Por outro lado, as balanças da rodovia por sua vez possuem um período anual de manutenção em que são fechadas. E as praças de pedágios permitem a interdição de uma cabine por vez para a realização da intervenção necessária. Por esse motivo, a Pista Marginal em Guarulhos foi escolhida como trecho experimental da pesquisa.

Durante o mês de Junho de 2019 foi executado o levantamento visual detalhado (LVD) dos defeitos existentes nas placas de concreto constituintes da pista marginal. A partir disso, como trecho experimental, definiram-se 07 placas a serem restauradas na pista marginal com a aplicação de perfis de fibras de carbono, identificadas na Tabela 1.

Tabela 1. Identificação das placas a serem tratadas

Placa	Defeito Identificado	Faixa de Rolamento
368	TLL	1
369	TLL	1
370	TLL	1
371	TLL	1
403	TLL+TT	2
418	TT	2
440	TLL	1

Os defeitos apontados na Tabela 1 são denominados como:

- TLL: Trincas Longitudinais Longas
- TT: Trincas Transversais

Para cada placa, elaborou-se o mapeamento das fissuras existentes e foi programada a quantidade e dimensão das ranhuras a serem executadas, assim como a dimensão dos perfis de fibra de carbono, como apresentado nas fichas do Anexo A.

Em seguida era realizado o corte seco sobre a demarcação da ranhura para poder preenchê-lo com a resina epóxica. O próximo passo trata-se da inserção das fibras de carbono, com a aplicação da resina para dar o acabamento.

As Figuras 3.1 a 3.6 apresentam em sequência o procedimento de execução da técnica estudada nessa pesquisa.

As obras de recuperação das placas de concreto foram executadas entre os meses de Julho e Agosto de 2019. Todos os serviços foram realizados durante o período noturno, devido às restrições operacionais da rodovia, conforme plano de ocupação da concessionária em conjunto com Policia Rodoviária Federal. Além disso, houve acompanhamento de equipe de fiscalização de obras durante a execução do trecho experimental.

Figura 3.1. Identificação das fissuras



Figura 3.2. Demarcação das ranhuras



Figura 3.3. Corte Seco



Figura 3.4. Preenchimento com resina



Figura 3.5. Inserção da fibra de carbono



Figura 3.6. Acabamento



Km216 MgN/SP-Pesquisa Carbofit Pavimento Rígido (Placas de Concreto).

3.3 ETAPA C

Esta etapa trata-se do Monitoramento e Avaliação.

O monitoramento é importante para que se tenha um acompanhamento do projeto, possibilitando a análise da eficiência e qualidade do estudo através da avaliação técnica. Para tanto, foi realizado o levantamento visual de defeitos após a aplicação da técnica para averiguar se o pavimento apresenta melhorias.

Para avaliar o desempenho da técnica, foram realizadas campanhas de levantamentos antes (Junho/2019) e pós obras (Outubro/2019 e Janeiro/2020). Para tal fim, foram utilizados os equipamentos FWD (Falling Weight Deflectometer) conforme a Norma DNIT 132/210 e CAM (Crack Activity Meter).

O FWD é um equipamento utilizado para simular a deflexão do pavimento causada por um veículo em movimento, como ilustra a Figura 4. É gerada uma carga dinâmica pela queda de um peso, transmitida à superfície do pavimento por um disco circular com diâmetro de 30 cm. O pulso gerado pela carga do FWD deforma momentaneamente o pavimento em uma forma de bacia. Os deslocamentos na superfície do pavimento são medidos por geofones, que fornecem a informação da bacia de deflexão daquele ponto. Com base na força exercida no pavimento e a forma desta bacia, é possível estimar a rigidez do pavimento utilizando diversos métodos.

Figura 4: Levantamento com uso de FWD



No caso de pavimentos de concreto de Cimento Portland, o FWD pode ser utilizado para determinar o grau de travamento entre placas adjacentes. Ou seja, mede-se a eficiência da transferência de carga entre placas, sendo este valor normalmente chamado de LTE (Load Transfer Efficiency). A medição do LTE

é realizada posicionando o disco do FWD tangente à um lado da junta (ou trinca) a ser analisada. A carga é então gerada e são adquiridas medições de deflexão equidistantes de cada lado da junta. Em uma junta que as deflexões têm o mesmo valor, esta é considerada como perfeitamente eficiente. Já para a maioria das juntas, a deflexão medida na placa adjacente à carga é menor do que a medida na placa carregada. (FHWA,2006).

O LTE foi calculado segundo a seguinte expressão:

$$LTE = \frac{D0}{D30};$$

Sendo:

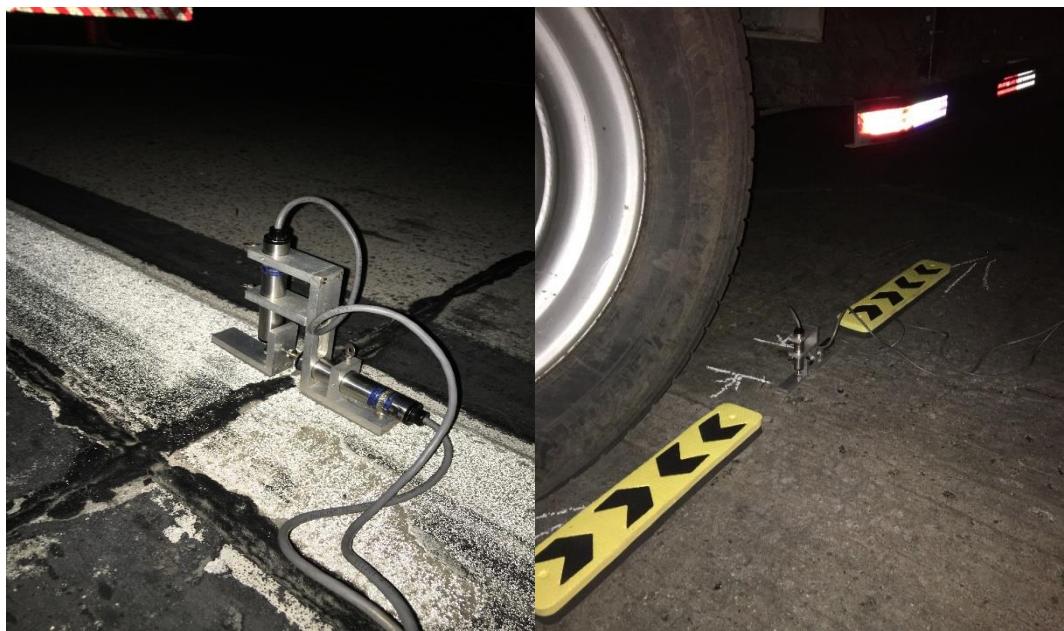
- D0: leitura da deflexão exatamente no ponto de aplicação da carga do FWD;
- D30: leitura da deflexão a 30cm do ponto de aplicação da carga.

Figura 5: Aplicação da carga – Cálculo do LTE



Já o Crack Activity Meter (CAM) é um equipamento desenvolvido pelo Instituto Nacional de Transportes da África do Sul, que permite medir os movimentos diferenciais entre as paredes da trinca originada pela passagem de uma carga de roda através de dois medidores de deslocamento resistivo do tipo LVDT's (Linear Variable Differential Transformers). A Figura 6 mostra o equipamento CAM.

Figura 6: Crack Activity Meter (CAM)



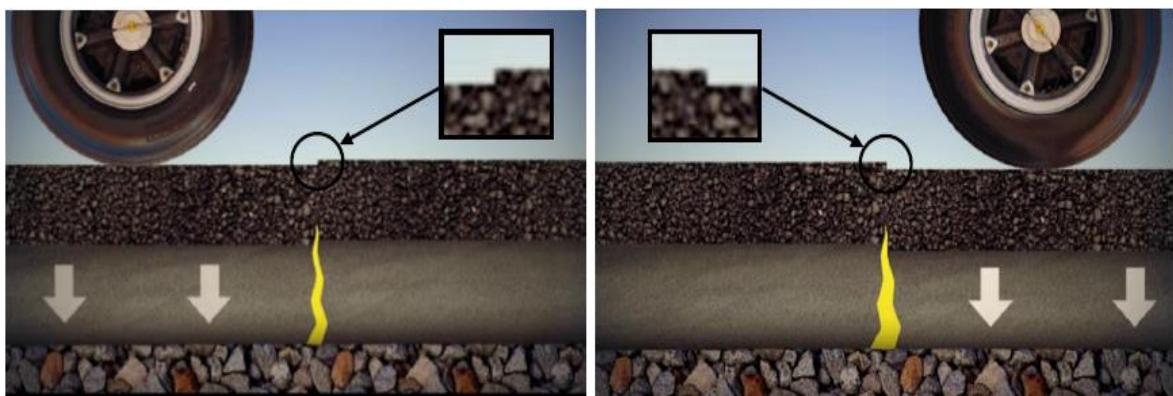
O primeiro LVDT na posição horizontal mede o incremento na abertura da trinca ou junta durante a passagem de uma carga de roda à flexão, como ilustra a Figura 7.

Figura 7: Posição flexão



E o segundo LVDT registra o movimento vertical relativo entre as paredes de uma trinca em cisalhamento, parâmetro importante para caracterizar a condição de transferência de carga entre as paredes de uma trinca por causa do entrosamento de agregados. A Figura 8 mostra a posição de cisalhamento antes e após a passagem da carga de roda.

Figura 8: Posição de cisalhamento



Os levantamentos foram realizados nas juntas transversais de entrada e saída das placas (sentido do tráfego) e perpendicularmente às trincas/fissuras identificadas.

3.4 ETAPA D

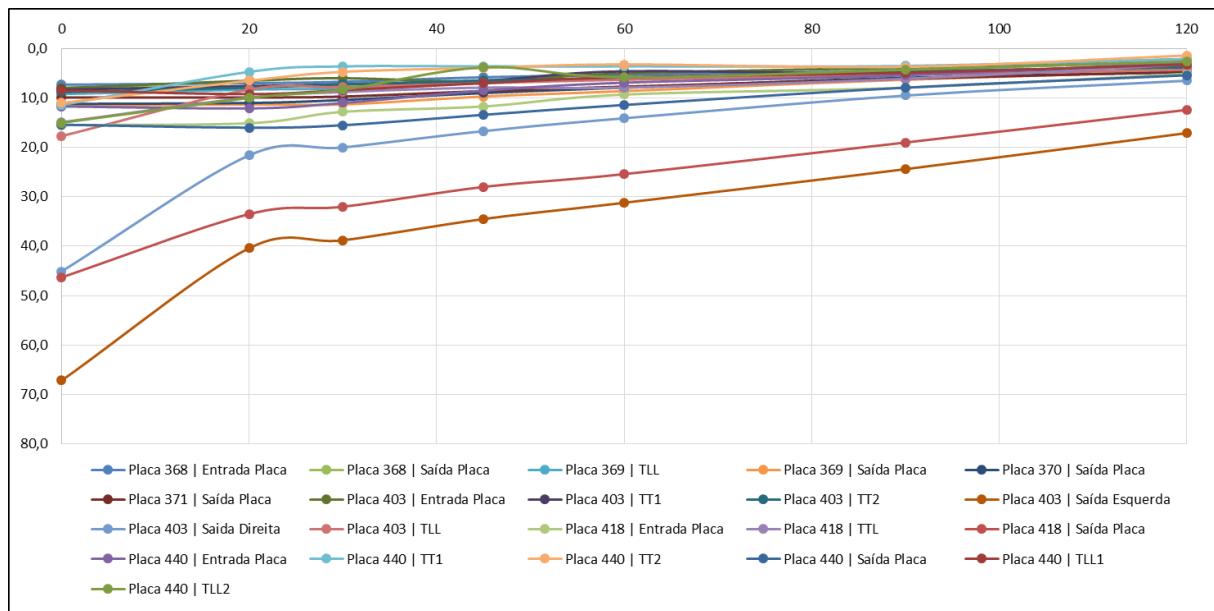
Esta etapa consiste na Análise dos Resultados e Elaboração do Relatório.

Os resultados obtidos no monitoramento da Etapa “C” foram organizados e analisados para avaliação final da técnica de restauração de pavimento de concreto com perfis de carbono.

A partir dos levantamentos realizados foram traçadas as bacias de deflexões, provenientes das saídas do FWD para as situações anterior e posterior às obras.

A Figura 9 mostra o comportamento das placas analisadas no trecho experimental referente as bacias deflectométricas antes da aplicação da técnica do emprego de perfis de carbono. E através dela, observa-se que as placas 403 e 418 apresentaram elevados valores de deflexão (D0), indicando maior grau de severidade das trincas. Enquanto que as demais placas apresentaram baixos valores de deflexão, cuja as bacias indicam comportamento similar de resposta a solicitação de cargas.

Figura 9: Bacias deflectométricas antes da obra – Junho/2019



Por outro lado, as Figuras 10 e 11 apresentam o comportamento das bacias deflectométricas após o emprego da técnica nas placas de concreto selecionadas.

Figura 10: Bacias deflectométricas – Outubro/2019

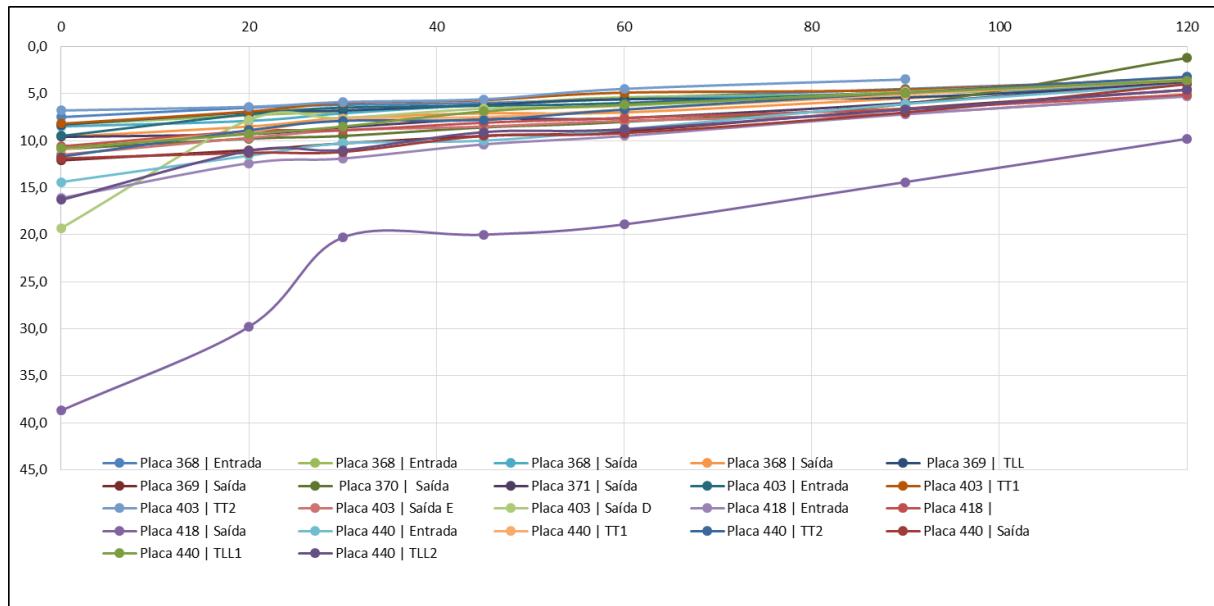
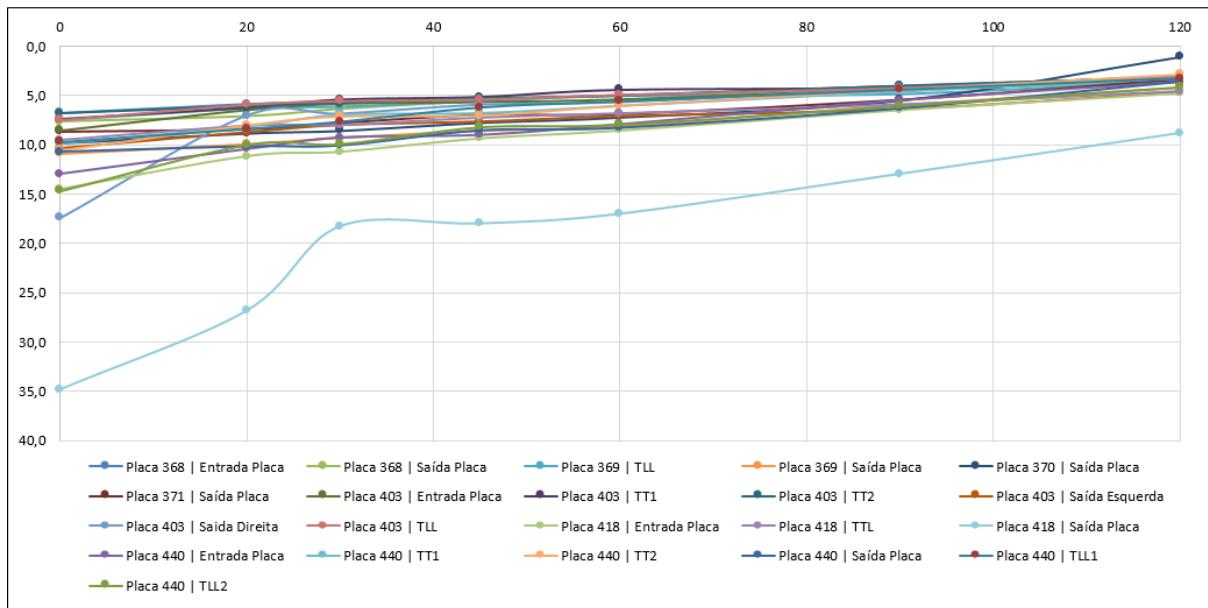


Figura 11: Bacias deflectométricas – Janeiro/2020



Verifica-se para as placas 403 e 440 um ganho expressivo na resposta a aplicação da carga com a diminuição dos valores de deflexão.

O valor referente a saída da placa 418, ou seja, carga aplicada na placa 419 não apresentou melhora significativa após o tratamento das fissuras existentes na placa 418. Tal fato pode ser decorrente de patologia não identificada visualmente na placa subjacente (419).

Com os dados de FWD em especial as leituras D0 e D30, determinou-se os percentuais de LTE (Eficiência de transferência de carga), cujos resultados encontram-se compilados na Tabela 2.

Tabela 2: Análise comparativa de LTE (antes e pós obras)

Placa	ANTES			PÓS (Outubro/2019)			PÓS (Janeiro/2020)		
	D0	D30	LTE	D0	D30	LTE	D0	D30	LTE
368 Entrada	7,3	6,7	92%	7,5	6,2	83%	6,8	5,6	83%
368 Entrada	7,2	7,1	99%	8,3	6,9	83%	7,5	6,2	83%
368 Saída	7,9	7,5	95%	8,5	7,1	84%	7,7	6,4	84%
368 Saída	8,3	7,0	84%	9,6	7,6	79%	8,6	6,8	79%
369 TLL	9,2	8,0	87%	8,3	6,8	82%	7,5	6,1	82%
369 Saída	11,6	11,3	97%	12,1	10,3	85%	10,9	9,3	85%
370 Saída	11,2	10,4	93%	10,9	9,5	87%	9,8	8,6	87%
371 Saída	9,9	9,7	98%	9,6	8,6	90%	8,6	7,7	90%
403 Entrada	8,0	6,0	75%	9,5	6,5	68%	8,6	5,9	68%
403 TT1	8,3	7,2	87%	8,2	6,0	73%	7,4	5,4	73%
403 TT2	8,8	7,2	82%	7,6	6,4	84%	6,8	5,8	84%
403 Saída E	67,2	38,8	58%	11,5	8,9	77%	10,4	8,0	77%
403 Saída D	45,1	20,0	44%	19,3	7,6	39%	17,4	6,8	39%
403 TLL	17,7	7,8	44%	8,3	6,2	75%	7,5	5,6	75%
418 Entrada	15,5	12,8	83%	16,1	11,9	74%	14,5	10,7	74%
418 TTL	14,9	8,8	59%	10,6	8,9	84%	9,5	8,0	84%
418 Saída	46,3	32,0	69%	38,7	20,3	52%	34,8	18,3	52%
440 Entrada	11,7	11,0	94%	14,4	10,3	72%	13,0	9,3	72%
440 TT1	11,4	3,6	32%	10,9	7,7	71%	9,8	6,9	71%
440 TT2	11,0	4,7	43%	11,7	7,9	68%	10,5	7,1	68%
440 Saída	15,4	15,5	101%	11,9	11,2	94%	10,7	10,1	94%
440 TLL1	8,5	8,4	99%	10,8	8,5	79%	9,7	7,7	79%
440 TLL2	15,0	8,3	55%	16,3	11,0	67%	14,7	9,9	67%

Segundo FHW (1990), avalia-se como satisfatória a transferência de carga para valores de LTE iguais ou superiores a 70%. Foi observada que na maioria das vezes o LTE encontrava-se abaixo de 70% após a intervenção, estes valores passaram a ser satisfatórios. Nos casos onde não foi superado o limite de 70% após a obra, a redução nos valores de deflexões indica ganho de rigidez e melhor distribuição de carga.

Apesar de haver por vezes um decréscimo de LTE após a execução do tratamento, os valores de deflexão permaneceram no mesmo patamar ou até mesmo diminuíram. Embora esta variação influencie no cálculo do LTE, proporcionalmente os valores de deflexão apresentaram melhora substancial.

Já com os levantamentos realizados com CAM foi possível medir os movimentos diferenciais entre as paredes das trincas. Todavia, no momento dos levantamentos ocorreram restrições operacionais que impediram a avaliação de alguns pontos.

As Figuras 12 a 14 mostram os movimentos diferenciais captados pelo CAM, tanto verticais quanto horizontais, em momentos distintos.

Figura 12: Movimentos diferenciais captados pelo CAM em Junho/2019

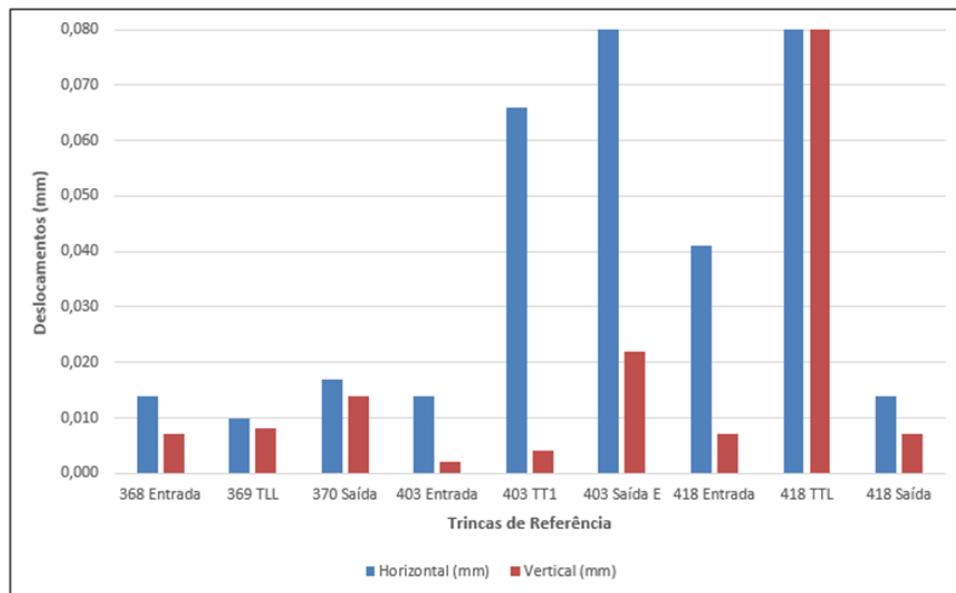


Figura 13: Movimentos diferenciais captados pelo CAM em Outubro/2019

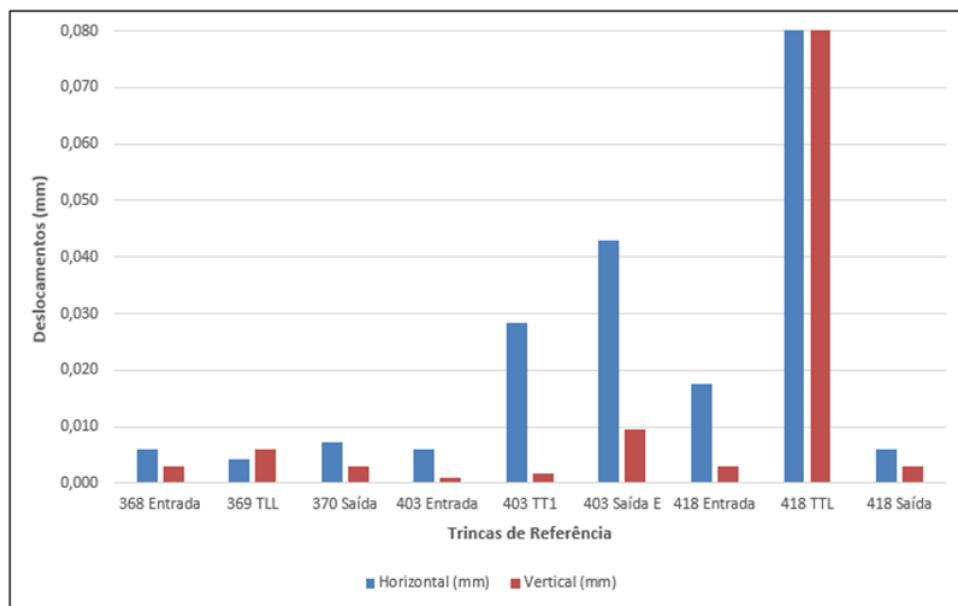
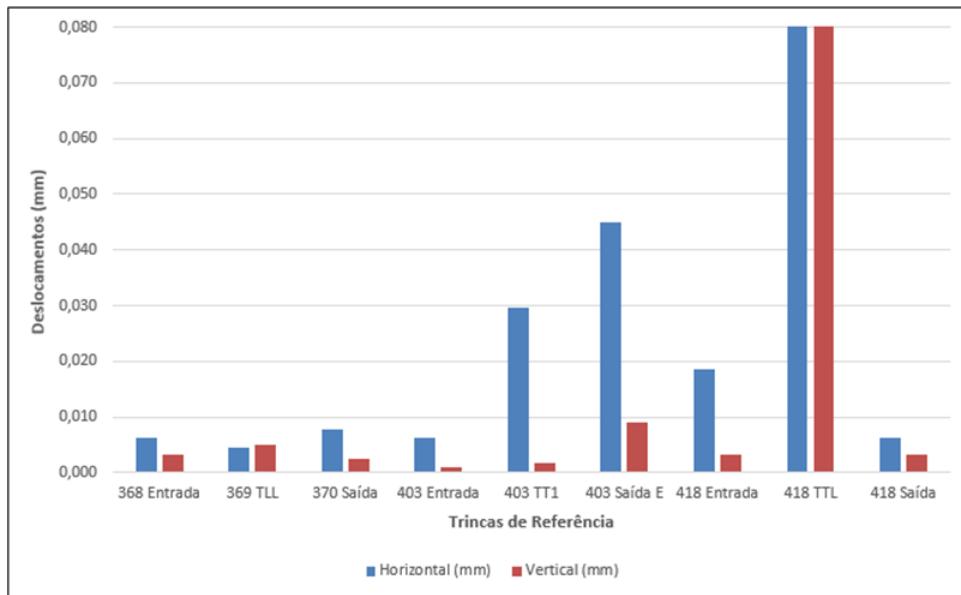


Figura 14: Movimentos diferenciais captados pelo CAM em Janeiro/2020



Em complemento as Figuras 12 a 14, os deslocamentos verticais e horizontais antes e pós obra estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Análise comparativa dos deslocamentos registrados pelo CAM (antes e pós obras)

Placa	ANTES		PÓS (Outubro/2019)		PÓS (Janeiro/2020)	
	Horizontal (mm)	Vertical (mm)	Horizontal (mm)	Vertical (mm)	Horizontal (mm)	Vertical (mm)
368 Entrada	0,014	0,007	0,006	0,003	0,006	0,003
369 TLL	0,010	0,008	0,004	0,006	0,005	0,005
370 Saída	0,017	0,014	0,007	0,003	0,008	0,003
403 Entrada	0,014	0,002	0,006	0,001	0,006	0,001
403 TT1	0,066	0,004	0,028	0,002	0,030	0,002
403 Saída E	0,100	0,022	0,043	0,009	0,045	0,009
418 Entrada	0,041	0,007	0,018	0,003	0,018	0,003
418 TTL	7,390	5,500	3,178	2,365	3,326	2,362
418 Saída	0,014	0,007	0,006	0,003	0,006	0,003

Diante dos resultados apresentados pelas Figuras 12 a 14, resumidos na Tabela 3, pode-se observar que houve uma redução dos deslocamentos horizontais e verticais depois da execução das obras nas placas selecionadas.

A placa 418 apresentava uma TTL com deslocamentos elevados, horizontais e verticais, antes da obra, Junho de 2019. Quatro meses após a intervenção constata-se que esse deslocamento foi reduzido em 57%, e foi mantido com o levantamento realizado em Janeiro de 2020. Dessa forma, o emprego de fibras

de carbono contribuiu para a diminuição da abertura de trincas, pois aumenta a rigidez da placa de concreto de cimento Portland.

A partir dos ganhos observados, há expectativas de que com a adoção da técnica apresentada, a durabilidade das placas se estenda, postergando assim a necessidade de demolição e reconstrução. Verificou-se que para as placas, cujas patologias justificavam a reconstrução parcial ou total, a técnica apresentada mostrou-se eficiente, resultando num ganho expressivo de LTE e numa diminuição das deflexões e movimentações em geral da placa.

A lâmina de Carbofit propõe o travamento das trincas evitando a sua propagação, quando dimensionadas em posições estratégicas. Além disso, confirmou-se tecnicamente vantajosa pelo fato da selagem das trincas com a resina ser um impermeabilizante e evitar a deterioração do apoio das placas, mitigando o processo de bombeamento de finos. Esse processo proporcionou um ganho no Índice de Condição do Pavimento (ICP).

4 CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS GERADOS

Esta pesquisa atingiu o objetivo geral proposto no plano de trabalho pois conseguiu mostrar a avaliação do emprego de perfis de fibras de carbono na recuperação de placas de concreto fissuradas na Rodovia Presidente Dutra, localizadas na Pista Marginal em Guarulhos. Assim como, os objetivos específicos da pesquisa também foram concluídos.

A Etapa A possibilitou a compreensão do funcionamento detalhado dos materiais estudados e o comportamento deles quando utilizado em placas de concreto de cimento Portland, como a lâmina de fibra de carbono e a resina. Além disso, foi identificado os possíveis locais para o emprego desta técnica na Rodovia Presidente Dutra e selecionadas as placas de concreto que melhor se enquadravam as metas do trecho experimental. Com a aplicação da técnica aqui estudada no trecho experimental de Guarulhos foi possível acompanhar, entender e detalhar o procedimento executivo da aplicação dos perfis de carbono (Etapa B).

Para a eficácia desse acompanhamento, as placas de concreto que receberam laminados de fibra de carbono foram monitoradas durante todo desenvolvimento da pesquisa, com direito a levantamentos visuais de defeitos, e avaliadas com o uso de equipamentos como FWD e CAM (Etapa C). O que facilitou o cumprimento da Etapa D com a análise dos resultados gerados por estes equipamentos, e pelas conclusões geradas pela pesquisa.

De modo geral, a técnica adotada atendeu a proposta do estudo, com o alcance de resultados satisfatórios para o monitoramento do trecho experimental após as obras. Ressalta-se que as placas permanecerão sob monitoramento para melhor avaliação da técnica e desempenho ao longo do tempo.

Apesar do custo da placa 440 deste estudo apresentar valores acima da reconstrução com concreto convencional, como explica o Quadro 3, as vantagens ambientais e operacionais compensam adotar a técnica do CARBOFIT. Porém, a Marginal Norte de Guarulhos não possibilita o uso do concreto convencional, uma vez que a janela de trabalho tem restrição de cinco horas. Pois, o concreto convencional gastaria cerca de até 3 dias para a liberação do tráfego, sendo inviável para este segmento. Por outro lado, a reconstrução com Graute de cura rápida de duas horas tem um custo muito elevado, o que justifica o uso da técnica do Carbofit.

Vale ressaltar que a demolição gera Resíduos da Construção e Demolição (RCD), nocivos ao meio ambiente, enquanto que as fibras de carbono evitam esse descarte. Além disso, a execução de tal técnica confirmou-se operacionalmente vantajosa, permitindo a liberação ao tráfego poucas horas após a conclusão dos serviços, atendendo a janela de trabalho, proporcionando maior segurança aos trabalhadores e usuários.

Quadro 3. Engenharia de Valores - Custo da placa 440: Reconstrução Total versus Carbofit

Soluções	Preço do Serviço (ano de 2020)	Preço Total da Placa
Carbofit	R\$ 119,48	R\$ 8.439,81
Reconstrução total com Graute de cura rápida	R\$ 12.035,81	R\$ 52.656,65
Reconstrução total com concreto convencional	R\$ 1.541,95	R\$ 6.746,03

Vale lembrar que a mão-de obra não requer tantos funcionários na aplicação do Carbofit, o que facilita a distribuição dos serviços, e evita grandes mobilizações. Dessa forma, este estudo pode ser aplicado em diversas rodovias e aeroportos, garantindo conforto ao usuário ao trafegar pelo pavimento de concreto.

Valéria Cristina de Faria

Gerente de Engenharia de Projetos de Pavimentos

Centro de Pesquisas Rodoviárias – CCR NovaDutra

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALBO, J. T. (2009). Pavimentos de concreto. Oficina de Textos: São Paulo, SP.
- CRONEY, P.; CRONEY, D. (1998). The design and performance of road pavements. 3rd Edition. McGraw-Hill: New York.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (DNIT). Norma DNIT 061/2004. Pavimento de Concreto. Defeitos - Terminologia. Rio de Janeiro, RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (DNIT). Norma DNIT 132/2010. Pavimentos – Calibração da célula de carga e de sensores de deflexão dos reflectómetros do tipo “Falling Weight Deflectometer (FWD). Procedimento. Rio de Janeiro, RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (DNIT). Manual de Pavimentos Rígidos (2004). Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR). Rio de Janeiro, RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (DNIT). Manual de Recuperação de Pavimentos Rígidos (2010). Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação IPR -737. Rio de Janeiro, RJ.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Pavement rehabilitation manual. FHWA-ED-88-025, Washington, D.C., 1990.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. LTPP Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements, Version 4.1. FHWA-HRT-06-132, Washington, D.C., 2006.

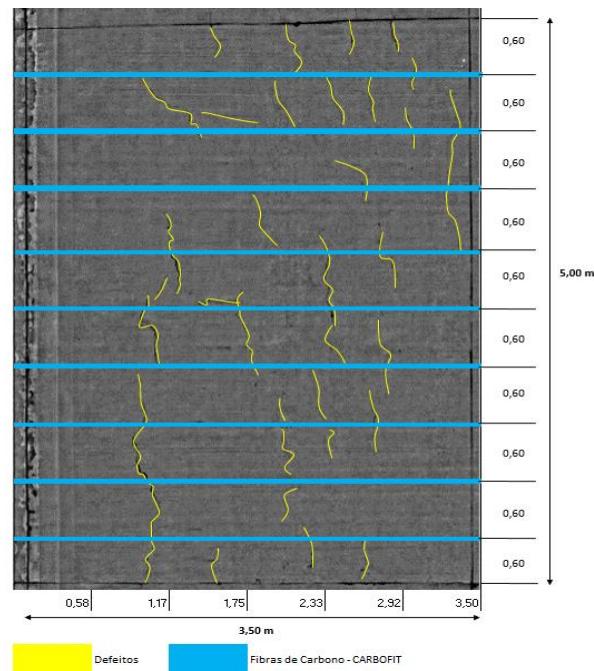
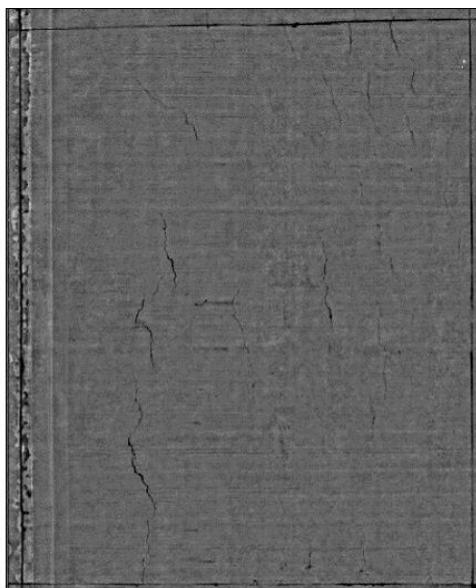
6 ANEXOS

Anexo A: Mapeamento dos defeitos, elaboração do projeto executivo, relatório de campo e serviço acabado.

ANEXO A

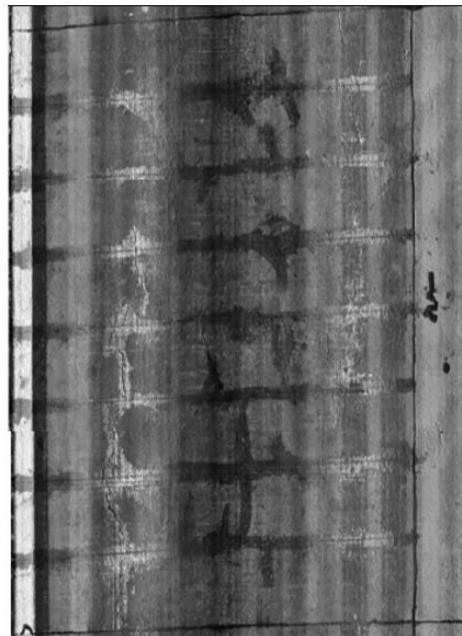
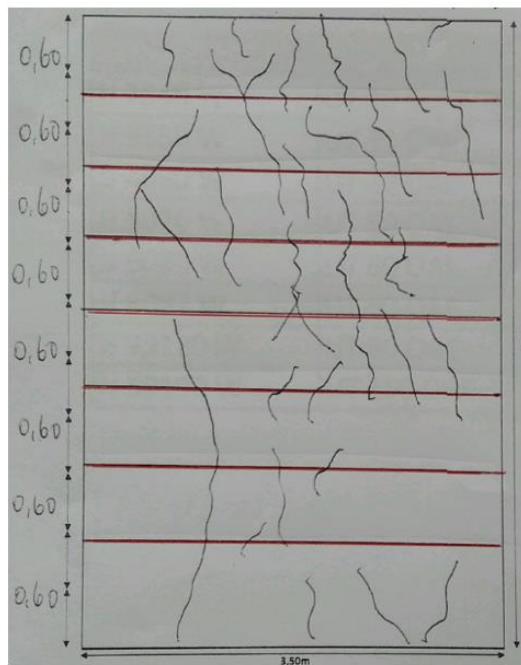
Placa 368

Antes



Levantamento dos defeitos e projeto executivo

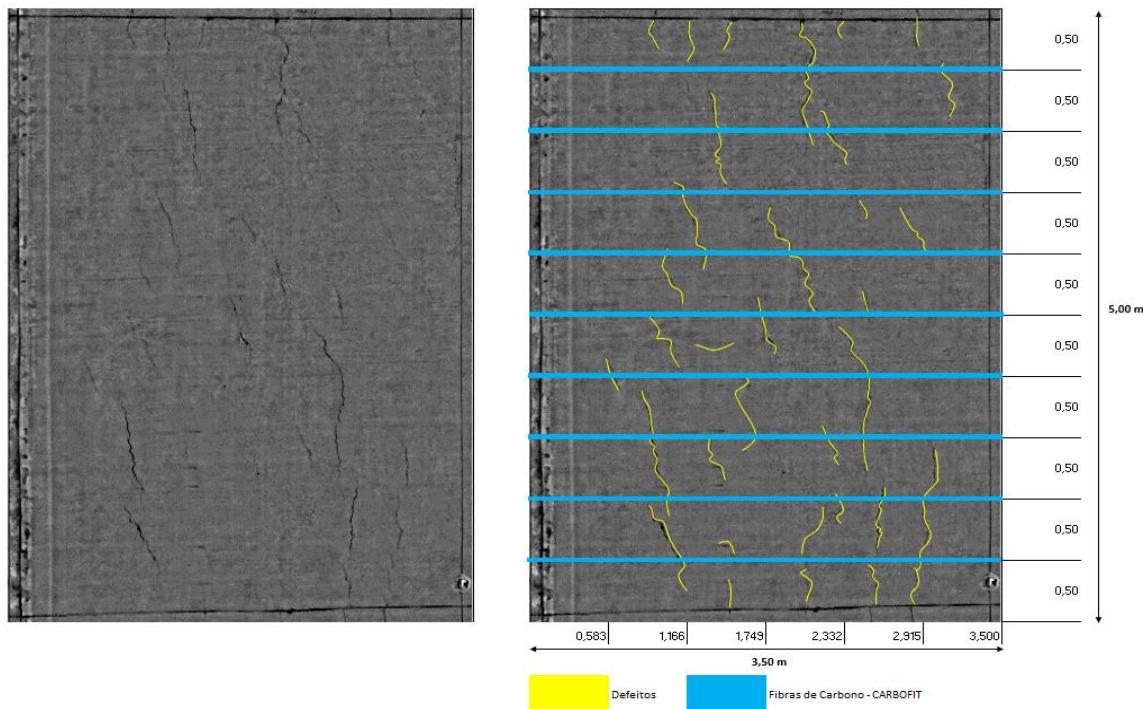
Depois



Relatório de campo e Obra Finalizada

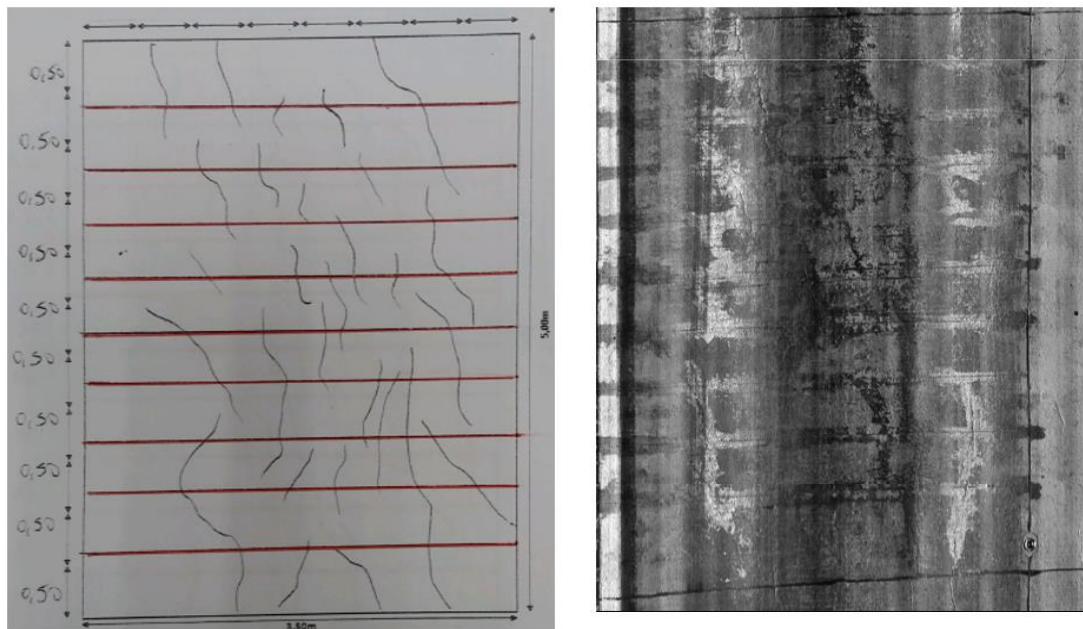
Placa 369

Antes



Levantamento dos defeitos e projeto executivo

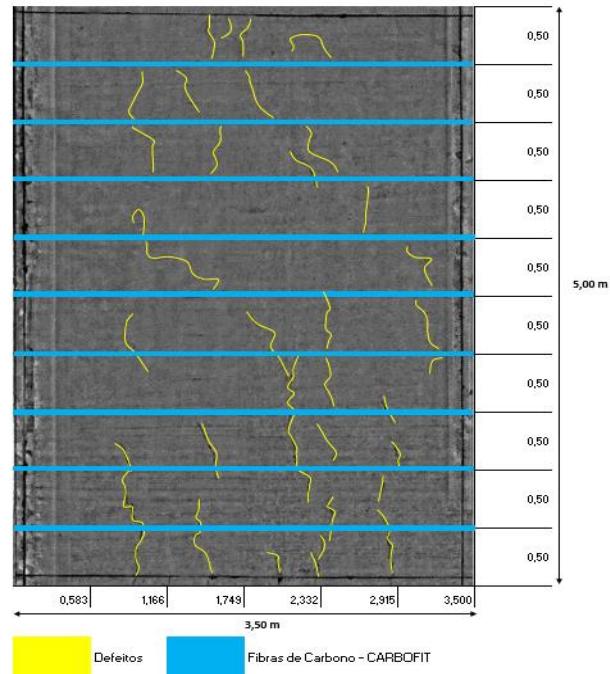
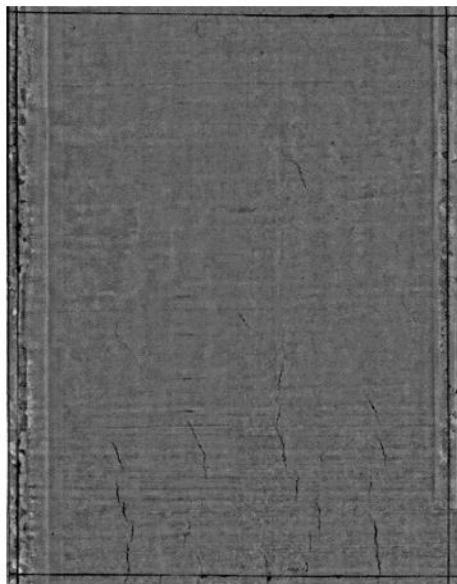
Depois



Relatório de campo e Obra Finalizada

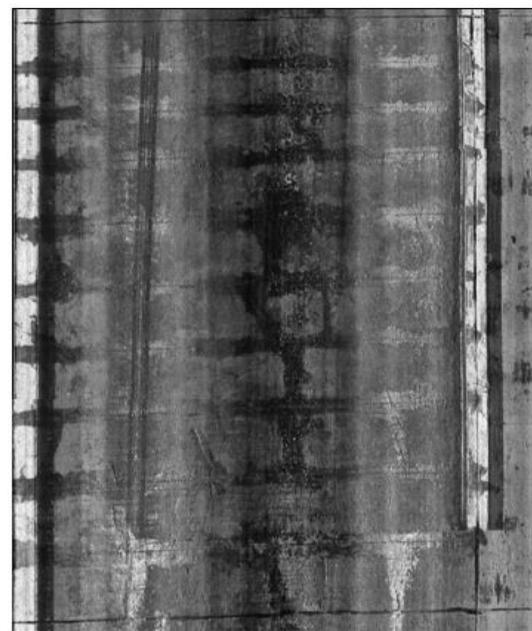
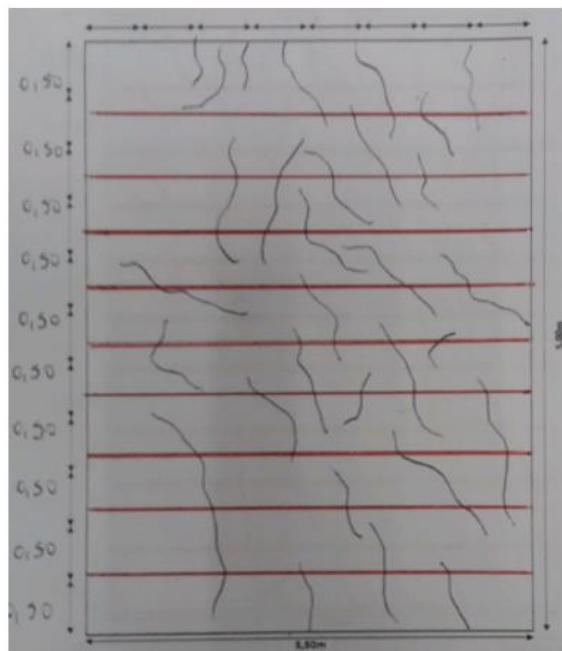
Placa 370

Antes



Levantamento dos defeitos e projeto executivo

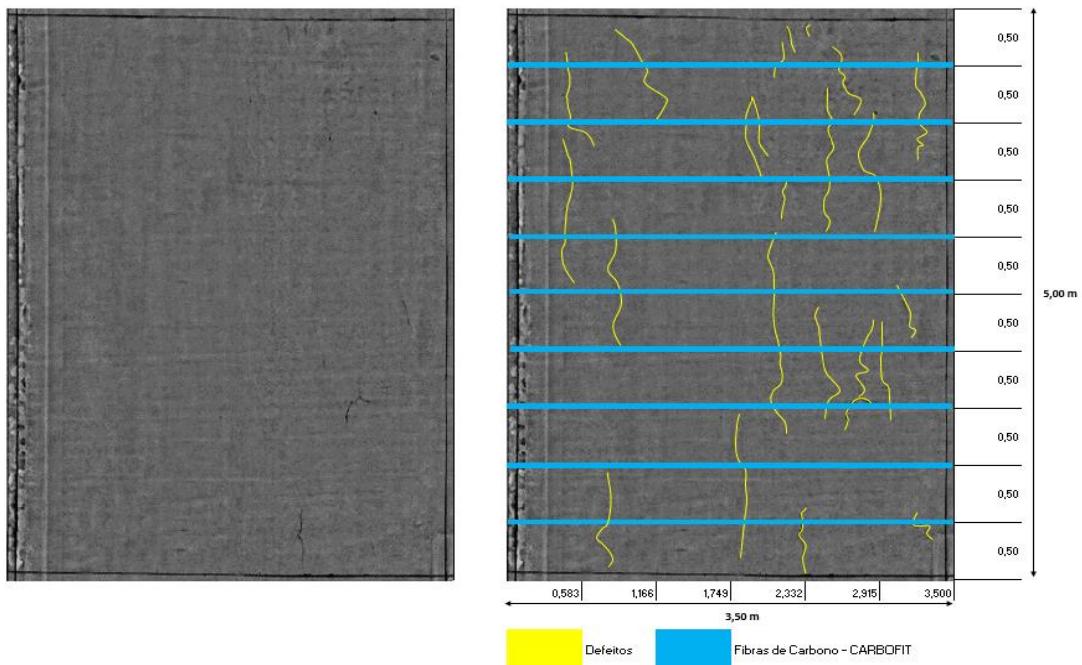
Depois



Relatório de campo e Obra Finalizada

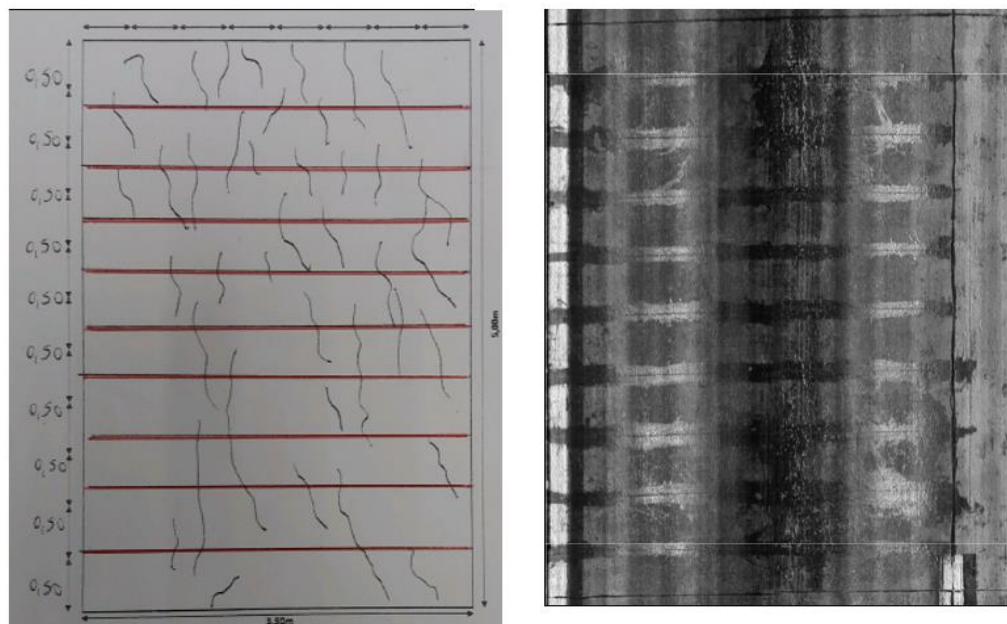
Placa 371

Antes



Levantamento dos defeitos e projeto executivo

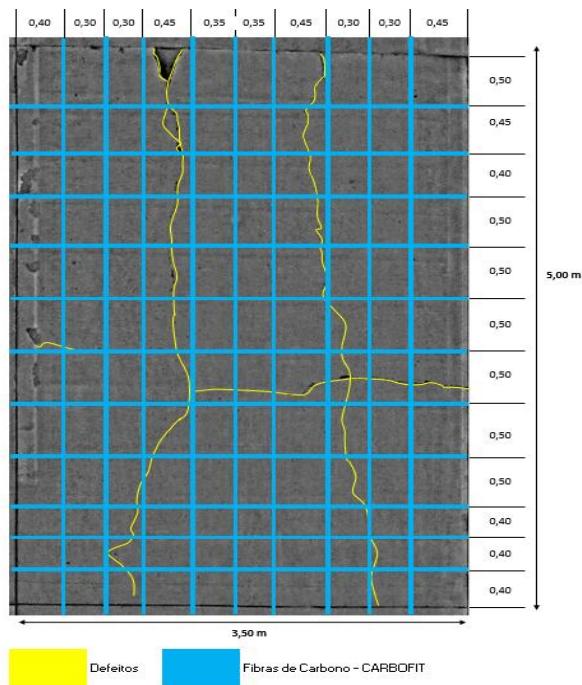
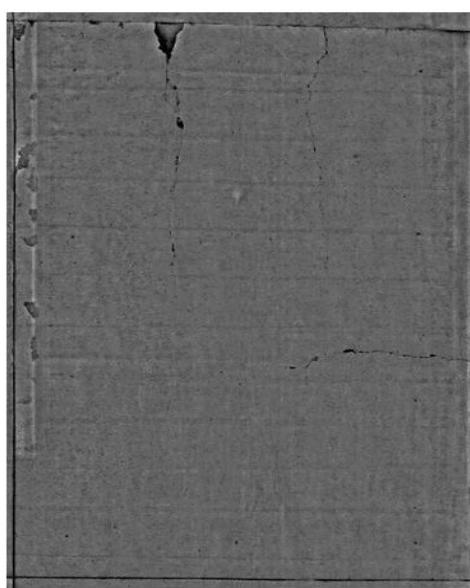
Depois



Relatório de campo e Obra Finalizada

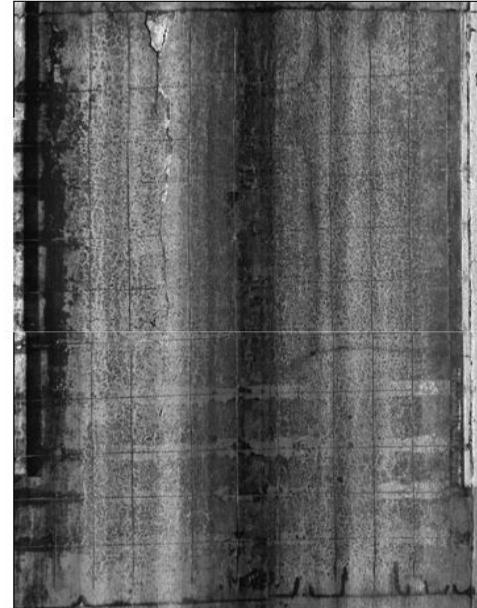
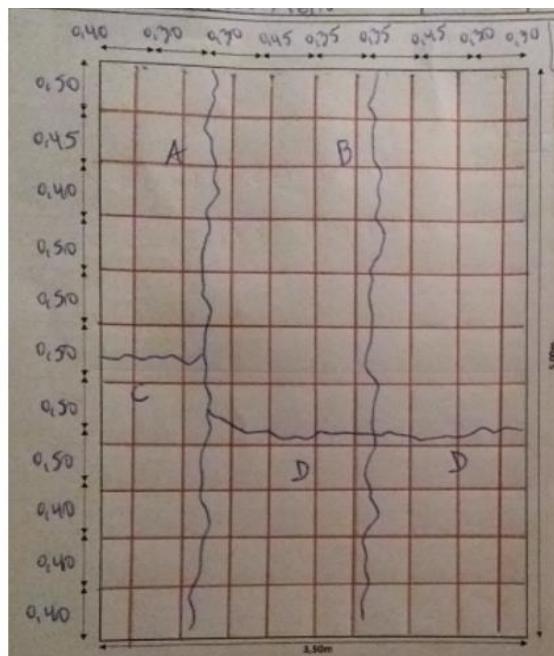
Placa 403

Antes



Levantamento dos defeitos e projeto executivo

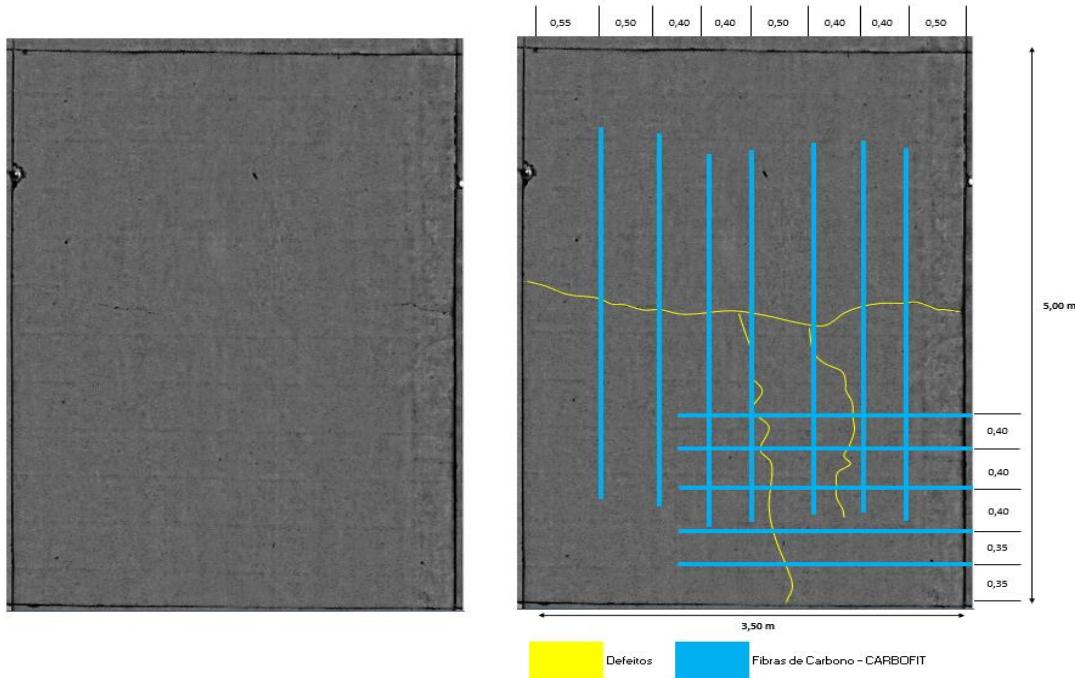
Depois



Relatório de campo e Obra Finalizada

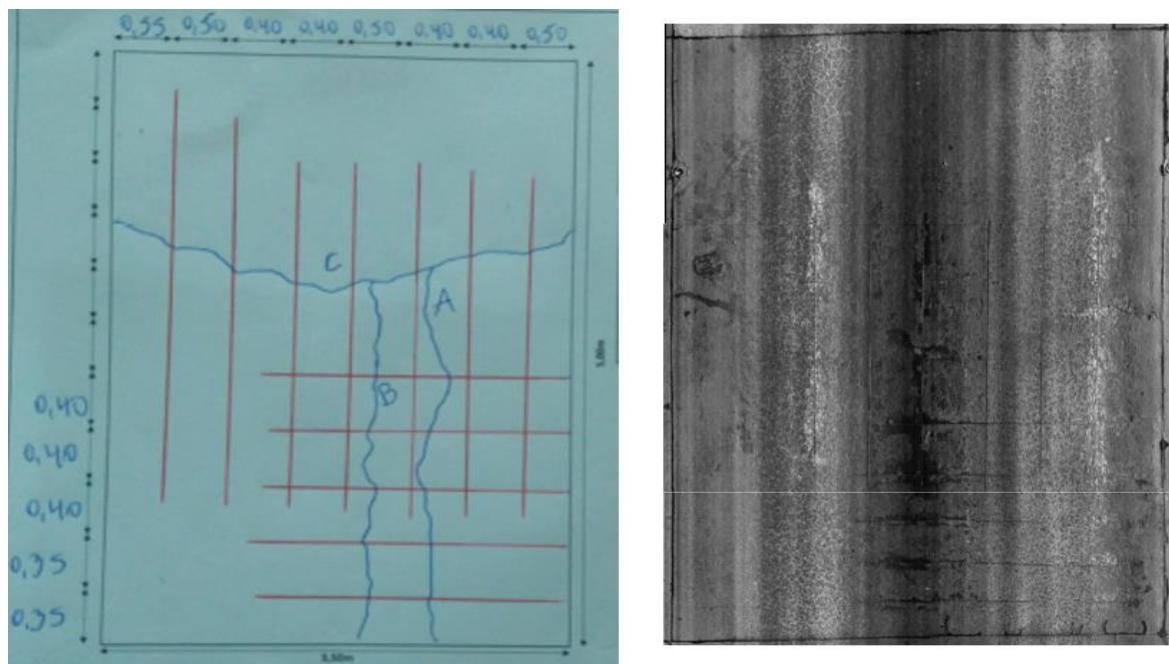
Placa 418

Antes



Levantamento dos defeitos e projeto executivo

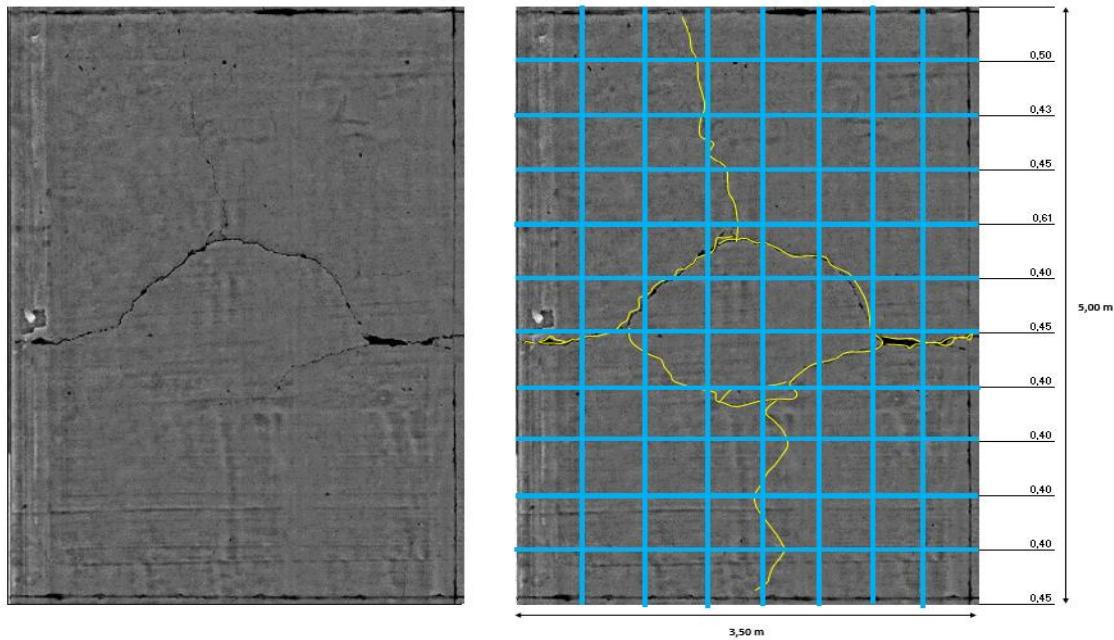
Depois



Relatório de campo e Obra Finalizada

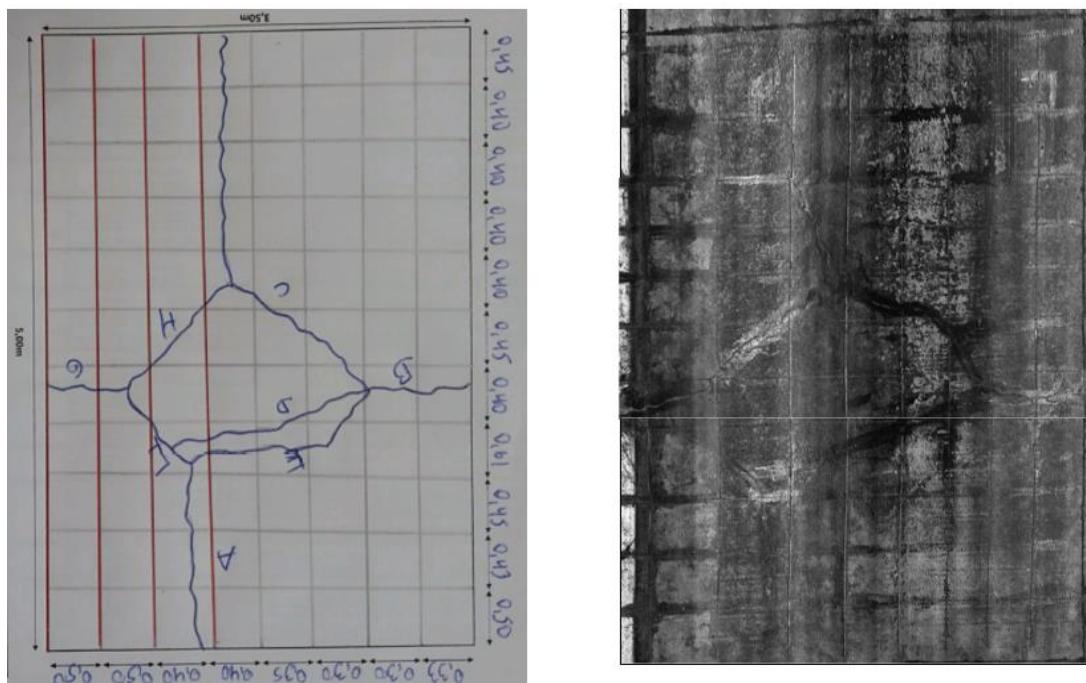
Placa 440

Antes



Levantamento dos defeitos e projeto executivo

Depois



Relatório de campo e Obra Finalizada