



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

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

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Luis Miguel Gutiérrez Klinsky<sup>1</sup>; Valéria Cristina de Faria<sup>2</sup>; Paulo de Brito e Cunha Murgel<sup>3</sup>*

#### RESUMO

Este trabalho apresenta uma ideia inovadora na manutenção de pavimentos de concreto. Trata-se de um material já utilizado há alguns anos no reforço de estruturas de concreto, que trouxemos para a recuperação de placas de concreto de vias e rodovias de pavimentos rígidos. Imaginando que uma placa de concreto fissura, pois a infiltração d'água nas juntas das placas carrega o material da base dessas regiões criando um movimento de gangorra nessas placas, imaginamos costurar estas trincas com lâminas de fibras de carbono inseridas na superfície das placas que seriam tracionadas quando o veículo passasse sobre a placa. Como a fibra de carbono tem uma resistência a tração maior que a do aço, o sistema se mostrou eficaz. Inicialmente, foram feitas algumas placas na rodovia Ayrton Senna entre 2012 e 2014 e posteriormente em 2019 na pista Marginal da Rodovia Presidente Dutra, em Guarulhos, entre outras rodovias. Para avaliar o desempenho da técnica empregada foram efetuados levantamentos deflectométricos, visando saber o LTE (Load Transfer Efficiency) antes e depois das intervenções. Este sistema que foi chamado de CARBOFIT tem a vantagem de ter uma execução rápida - 6 horas, e não gerar resíduos que precisem ser descartados. Este relatório tem como objetivo demonstrar o método para execução deste serviço de recuperação das placas de concreto, o desempenho e situação das placas durante o tempo.

**PALAVRAS-CHAVE:** manutenção de pavimento rígido; placas de concreto; fibra de carbono; Carbofit; resina.

#### ABSTRACT

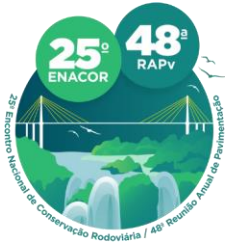
This work presents an innovative idea on the maintenance of concrete pavements. It is a material that has been used for some years for the reinforcement of concrete structures, which we brought to the recovery of concrete slabs of roads and highways of rigid pavements. Imagining that a concrete plate cracks, because of water infiltration in the joints of the plates that carries the material out of the base of these regions creating a seesaw movement in these plates, we suppose that sewing these cracks with blades of carbon fibers inserted into the surface of the plates that would be pulled when the vehicle passed over the plate. As the carbon fiber has a higher tensile strength than steel, the system has proven effective. Initially, some signs were made on the Ayrton Senna highway between 2012 and 2014 and later in 2019 on the Marginal lane of the Presidente Dutra Highway, in Guarulhos, among other highways. To evaluate the performance of the technique employed, deflectometric surveys were carried out, aiming to know the LTE (Load Transfer Efficiency) before and after the interventions. This system that was called CARBOFIT has the advantage of having a fast run, 6 hours and not generating waste that needs to be discarded. This report aims to demonstrate the method of performing this service of slabs concrete recovering, the performance and situation of the plates over time

**KEY WORDS:** concrete pavements maintenance; concrete plates; carbon fiber; Carbofit; resin.

<sup>1</sup> Grupo CCR, [luis.gutierrez@grupoccr.com.br](mailto:luis.gutierrez@grupoccr.com.br)

<sup>2</sup> Valeria Cristina de Faria, [valeria2008.faria@gmail.com](mailto:valeria2008.faria@gmail.com)

<sup>3</sup> Clever Solucion Asfalto e Concreto, [paulo@sp-reinforcement.com.br](mailto:paulo@sp-reinforcement.com.br)



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## ESTUDO DE CASO

### INTRODUÇÃO

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 deterioram, 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.

Nos pavimentos rígidos, algumas das técnicas de conservação e manutenção mais comuns 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.

Na ocorrência de fissuras transversais que ocasionam a divisão das placas, como mostra a Figura 1, a simples selagem não é suficiente para solucionar o problema, já que é necessário reforçar estruturalmente a área afetada. Usualmente é necessário 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. (AUTOR: DNIT 061/2004-TER)

Existem algumas alternativas para recuperar estruturalmente a placa de concreto, omitindo a necessidade de remoção do concreto. A alternativa proposta para este estudo consiste na aplicação de perfis de fibras de carbono. Para execução desta técnica é necessário realizar uma ranhura



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



perpendicular à fissura transversal, com auxílio de um disco de corte com a espessura adequada e em posições predeterminadas. Os sulcos assim obtidos, recebem resina epóxica para a colocação sucessiva dos perfis de fibras de carbono. Após cura da resina, o pavimento pode ser liberado ao tráfego de veículos.

O emprego desta técnica 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. Ao mesmo tempo, espera-se que a resina polimérica 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. A Rodovia Presidente Dutra (BR-116), possui 2km de pavimento Rígido na Pista Marginal em São Paulo, além das placas de concreto em praças de pedágio e balanças. Portanto, considerou-se uma boa oportunidade para avaliar o emprego de fibras de carbono nas atividades de restauração de pavimentos rígidos em um trecho experimental da Rodovia.

Considerou-se que o tempo de intervenção de placas de concreto seria muito menor, quando comparado com a alternativa de demolição e reposição de concreto, trazendo benefícios aos usuários, devido ao menor tempo de intervenção da pista, aumentando a sua segurança e conforto.

## DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS E DA TÉCNICA

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 em placas de concreto com dimensões de aproximadamente 6m x 3,5m. Os materiais empregados foram laminados de fibra de carbono: S&P 150/2000 – 20x1,4mm com seção do laminado de 28mm<sup>2</sup> e Módulo de elasticidade: 168 kN/mm<sup>2</sup>. A Resina utilizada foi S&P 55 com tempo de secagem de aproximadamente 2 a 4 horas a 25°C.

Conforme já mencionado, esta intervenção, tem como objetivo recuperar a estrutura da placa de concreto, aumentando sua vida útil, e impedir a progressão das fissuras existentes e o aparecimento de novas fissuras.

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

**Preparação da superfície:** demarcação das linhas onde foram executadas as ranhuras;

**Corte das ranhuras:** o corte foi realizado com serra policorte com disco diamantado a seco com espessura e profundidade adequadas às dimensões do perfil de fibra de carbono;

**Limpeza da ranhura:** parte fundamental para o sucesso da técnica, as ranhuras foram devidamente limpas com auxílio de soprador de ar;

**Verificação da profundidade das ranhuras:** após a limpeza, procedeu-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 foram limpos com álcool, eliminando sujeiras e gorduras;

**Aplicação da resina e inserção dos perfis:** aplicou-se diretamente na ranhura a resina epóxica e na sequência foi inserido o perfil;

**Acabamento e liberação ao uso:** após a inserção dos perfis, as fissuras foram novamente preenchidas com a mesma resina empregada para a colagem dos perfis e realizado o desempenho da



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



resina em toda a superfície. Após a cura da resina, cerca de 6 a 8 horas, o pavimento pôde ser liberado ao tráfego de veículos.

## EXECUÇÃO DE TRECHOS EXPERIMENTAIS

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.

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).

As 07 placas escolhidas para o estudo experimental foram identificadas a partir da campanha de monitoração de 2019 realizada pela concessionária, conforme apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Identificação das placas a serem tratadas (AUTORES, 2019)

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

Para cada placa, elaborou-se o mapeamento das fissuras existentes e a elaboração do projeto executivo permitiu identificar as quantidades de ranhuras e de lâminas de fibra de carbono a serem executadas, conforme exemplos apresentados nas Figuras de 2 a 5.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
www.rapvenacor.com.br

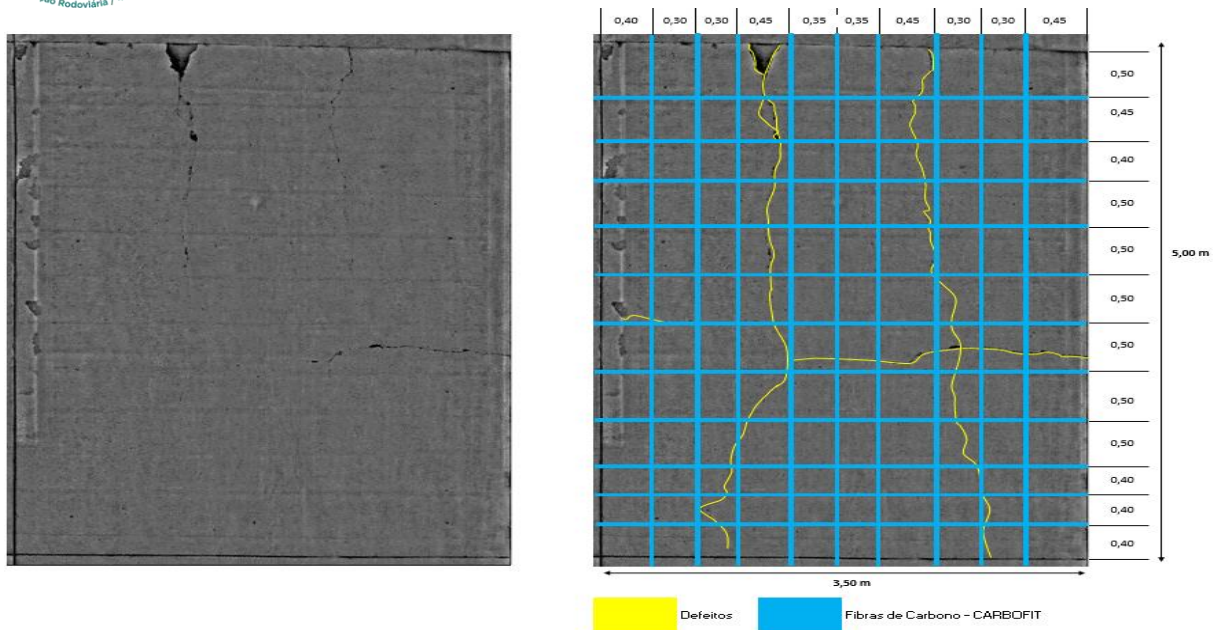


Figura 2. Placa 403-Levantamento dos defeitos e projeto executivo (AUTORES, 2019)

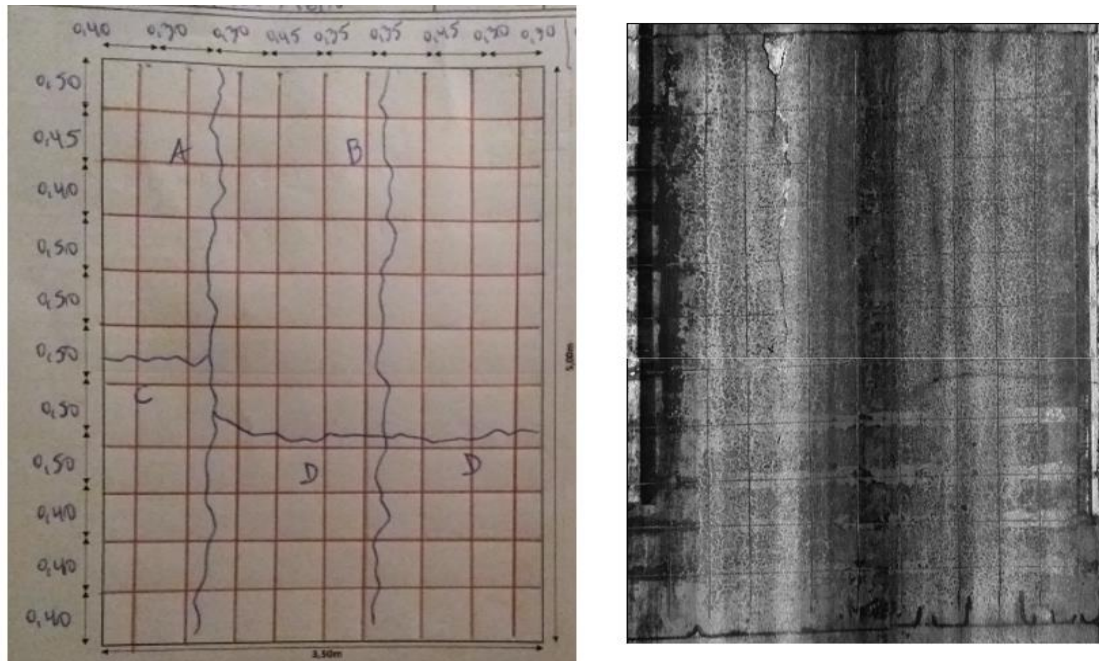


Figura 3. Placa 403 - Relatório de campo e Obra Finalizada (AUTORES, 2019)



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

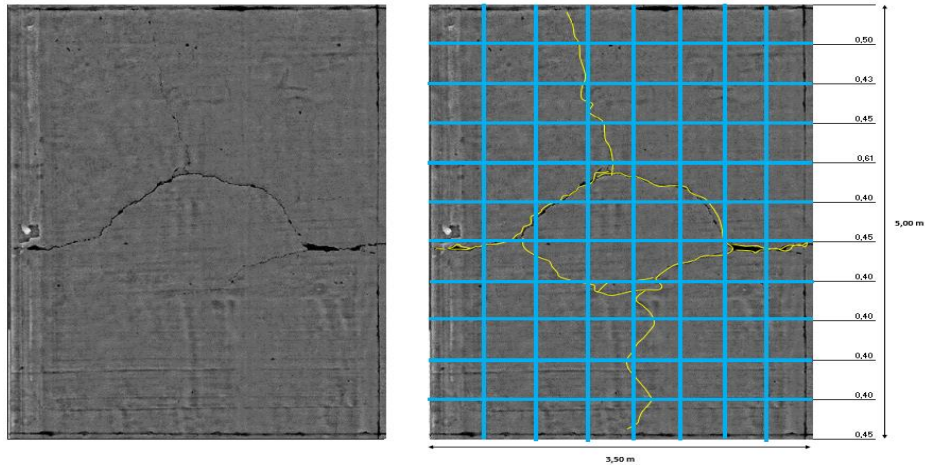


Figura 4. Placa 440 - Levantamento dos defeitos e projeto executivo (AUTORES, 2019)

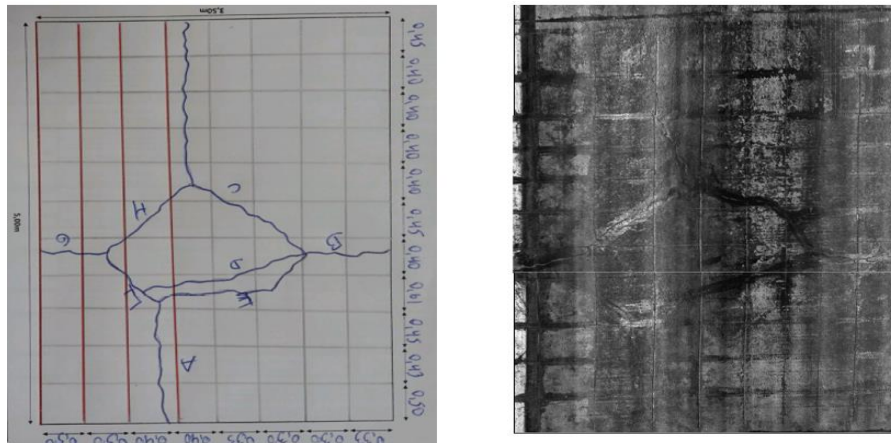


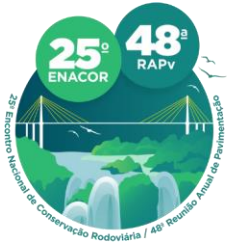
Figura 5. Placa 440 - Relatório de campo e Obra Finalizada (AUTORES, 2019)

As obras de recuperação das placas 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 Polícia Rodoviária Federal, conforme demonstram as Figuras de 6 a 9.



Figura 6. Identificação das fissuras e demarcação das ranhuras (AUTORES, 2019)





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



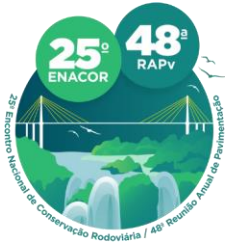
Figura 7. Corte seco e preenchimento com resina



Figura 8. Inserção da fibra de carbono (AUTORES, 2019)



Figura 9. Acabamento final da placa após manutenção (AUTORES, 2019)



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

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 foi utilizado o equipamento FWD (Falling Weight Deflectometer), conforme demonstra a Figura 10.

O FWD é um equipamento utilizado para simular a deflexão do pavimento causada por um veículo em movimento. 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 10. 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, conforme demonstrado na Figura 11. 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 utilizando a Equação 1:

$$LTE = \frac{D0}{D30}; \quad (1)$$

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.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Figura 11. Aplicação da carga – Cálculo do LTE (AUTORES, 2019)

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos levantamentos realizados foram traçadas as bacias de deflexões, provenientes das saídas do FWD para as situações anterior e posterior às obras. As bacias deflectométricas estão demonstradas nas Figuras de 12 a 14.

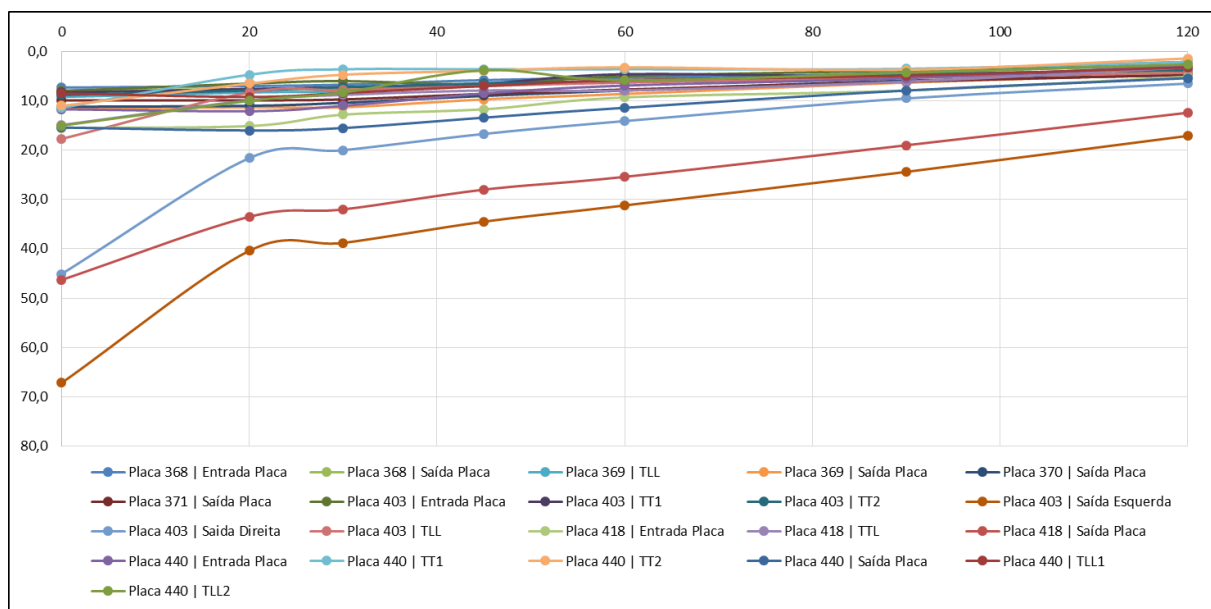
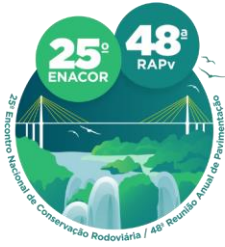


Figura 12. Bacias deflectométricas (AUTORES, 2019)

Observa-se que as placas 403 e 418 apresentaram elevados valores de deflexão (D0), indicando maior grau de severidade das trincas.

As demais placas apresentaram baixos valores de deflexão, demonstrando que as bacias indicam comportamento similar de resposta a solicitação de cargas.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Tabela 2. Análise comparativa de LTE - antes e pós obras (AUTORES, 2020)

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 TLL	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 FHWA (1990), avalia-se como satisfatória transferência de carga para valores de LTE iguais ou superiores a 70%. Foi observada que na maioria das vezes em que o LTE se encontrava 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.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados decorrentes da aplicação da técnica de inserção de fibras de carbono nas fissuras das placas de concreto confirmou-se operacionalmente vantajosa, permitindo a liberação ao tráfego poucas horas após a conclusão dos serviços.

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 diminuição das deflexões.

A selagem das trincas evita a deterioração do apoio das placas, posto que a infiltração de água é minimizada, e conseqüentemente o processo de bombeamento de finos é mitigado. Em tese, o processo de selagem das fissuras ocasionará um ganho no índice de condição do pavimento.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



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 reconstrução parcial ou total da placa.

Ressalta-se que as placas permanecerão sob monitoramento para melhor avaliação da técnica e desempenho ao longo do tempo.

Segue análise de custo da placa 440, conforme tabela 3:

Tabela 3. Análise de custo (AUTORES, 2019)

Soluções	Preço Total
Reconstrução total	6.746,03
Carbofit	7.363,34

Apesar do custo apresentar valores acima da reconstrução, as vantagens operacionais e ambientais compensam adoção da técnica do CARBOFIT.

Até o momento a concessionária já utilizou aproximadamente 10 mil metros de CARBOFIT.

## 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 reflectômetros do tipo “Falling Weigh 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.