



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

Adequação da norma brasileira PRO-011 em sistema de Gerenciamento de Pavimentos

Alejandro Anguiano Acquart¹; Edwin Fernando Ruiz Blanco²; Esther Pozo Caro³

RESUMO

O Sistema de Gestão de Pavimentos em estudo é uma ferramenta de software que permite aos usuários terem acesso a informações completas e organizadas sobre os ativos de redes rodoviárias incorporadas dentro do mesmo, bem como gerenciar a conservação, manutenção e operação das estruturas de pavimentos correspondentes de forma abrangente. O sistema permite conhecer e representar de diversas maneiras as características e o estado atual das estruturas de pavimentos das rodovias cadastradas. Adicionalmente, e a partir dos dados disponíveis e da configuração de ferramentas de decisão integrais, o sistema permite definir os trechos que requerem algum tipo de intervenção para propósitos de manutenção nessas estruturas, estabelecendo os períodos mais adequados para concretizar esses trabalhos em função de critérios técnicos e econômicos preestabelecidos. Dentro das adaptações feitas no sistema de gerenciamento para atender às necessidades de um conjunto de concessionárias brasileiras, foram implementados, dentro do Módulo PMS, os cálculos necessários para determinar a espessura de reforço necessária conforme estabelecido pela norma DNER-PRO 011/79, publicada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O presente documento tem como objetivo mostrar o conjunto de desenvolvimentos técnicos realizados para a implementação da norma no referido sistema, bem como suas aplicações na restauração de pavimentos no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: SGP, Gerência de Pavimentos, Reforço, PRO-011.

ABSTRACT

The pavement management system under study is a software tool that allows users to access comprehensive and organized information about assets of road networks incorporated within it, as well as manage the conservation, maintenance, and operation of corresponding pavement structures comprehensively. The system enables several ways to understand and represent the characteristics and current state of registered highways pavement structures. Additionally, based on available data and the configuration of integral decision-making tools, the system allows for defining sections requiring pavement interventions for maintenance purposes, establishing the most suitable periods to carry out these works based on pre-established technical and economic criteria. As part of the adaptations made to the Management System to meet the needs a set of Brazilian concessionaires, the necessary calculations to determine the required reinforcement thickness have been implemented within the PMS (Pavement Management System) Module of the system, as established by the DNER-PRO 011/79 standard published by the National Department of Transport Infrastructure (DNIT). This document aims to showcase the set of technical developments made for the implementation of the standard in the aforementioned Management System, as well as its applications in pavement rehabilitation in Brazil.

KEY WORDS: Pavement Management system, PMS, Reinforcement, PRO-011.

¹ Rauros – Grupo Tyspa; alanguiano@raurospe.com

² Engecorps – Grupo Tyspa; edwinfernando.ruiz@engecorps.com.br

³ Rauros – Grupo Tyspa; epozo@rauroszm.com



CONTEXTO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um dos pontos mais importantes quando se fala de pavimentos é o projeto e manutenção, já que, geralmente, os montantes de investimento nesses itens costumam ser o fator determinante da viabilidade ou não de um projeto, por isso estimar corretamente as espessuras das camadas é um processo crucial e deve ser executado com precisão.

Com o tempo, diferentes metodologias foram implementadas ao redor do mundo para o cálculo do reforço estrutural. Os primeiros métodos mundialmente aceitos foram os métodos da AASHTO e do Instituto de Asfalto dos Estados Unidos, que produziram seus primeiros resultados na década de 1950. Esses métodos eram baseados na repetição de cargas sobre o pavimento e na deformação das camadas existentes.

Esses métodos evoluíram ao longo do tempo até que, na década de 1990, começaram a basear seus cálculos nas leis de fadiga e deformação de pavimentos multicamadas e posteriormente, na década de 2000, utilizando a metodologia de elementos finitos.

Por sua vez, o contexto brasileiro apresenta particularidades únicas por ser um país com uma enorme extensão de terra e uma grande rede de estradas. O Ministério dos Transportes do Brasil, em conjunto com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), são responsáveis por normatizar e regular as metodologias utilizadas na construção e manutenção de estradas federais e concedidas, visando proporcionar aos usuários as melhores condições de viabilidade.

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) foi criado em 1937, suprimindo a antiga Comissão Federal de Estradas em Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Um de seus principais objetivos era desenvolver o plano geral de estradas nacionais, executar e/ou supervisionar obras e melhorias nas estradas nacionais, bem como a política de estradas e pontes nacionais.

Com a Lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001, que reestruturou os transportes fluviais e terrestres, o DNER foi extinto e criado em seu lugar o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O objetivo da autarquia é aplicar a política de infraestrutura de transporte terrestre e fluvial, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país.

Os fundos para a realização das obras provêm do Governo Federal. Em outras palavras, o DNIT é o gestor e executor, sob a jurisdição do Ministério dos Transportes, das vias navegáveis, ferrovias e estradas federais, das instalações de transbordo e interface intermodal e das instalações portuárias fluviais e lacustres.

Dentro das atividades realizadas pelo DNIT está a criação e atualização das normas e procedimentos para a avaliação e manutenção das estradas.

Para isso, o DNIT conta com a norma DNER-PRO 011/79, procedimento – B, que tem por objetivo estabelecer os procedimentos necessários para a avaliação estrutural dos pavimentos



flexíveis existentes, apontar as causas de suas deficiências e fornecer elementos para calcular a vida útil restante ou o reforço necessário para um novo número de esforços equivalentes ao eixo padrão durante o período considerado.

Essa norma estabelece o procedimento a ser seguido para calcular, com base nas deflexões do pavimento, o reforço necessário.

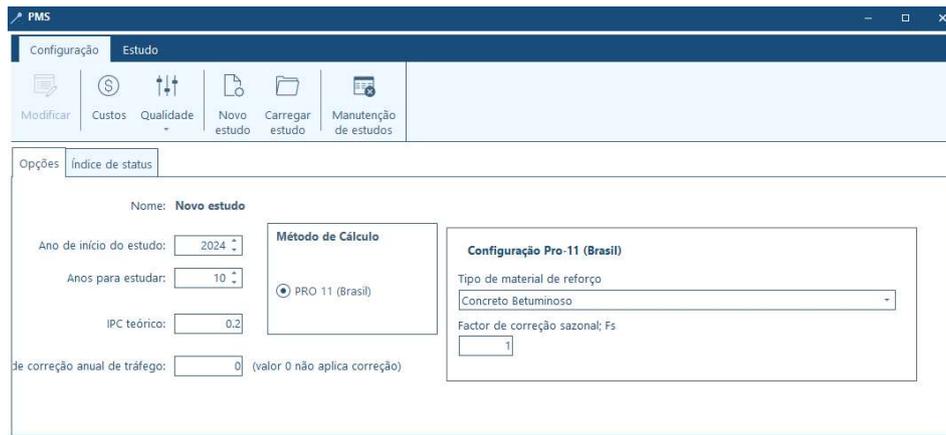


Figura 1. Sistema de Gerência de Pavimentos em estudo. - Fonte: SGP ICARO (Grupo Rauros-Engecorps).

A seguir, será apresentada a metodologia e os resultados da aplicação desse procedimento no sistema de gestão em estudo.

METODOLOGIA DESENVOLVIDA

A metodologia descrita a seguir foi considerada no processo de adequação do Sistema de Gerenciamento ÍCARO aos requisitos técnicos exigidos por uma concessionária rodoviária com atuação no Brasil. O referido Sistema de Gestão Rodoviária é um desenvolvimento informatizado composto por uma série de ferramentas e módulos, por meio das quais é possível gerenciar vários elementos, principalmente as estruturas de pavimentos, de uma rede rodoviária de forma integrada. O Sistema ÍCARO é um desenvolvimento 100% do Grupo Rauros, parte integrante do Grupo internacional TYPASA, representado nacionalmente através da sua subsidiária de Engenharia consultiva, ENGECORPS. O sistema conta com mais de 20 anos de aplicação em concessionárias privadas e órgãos públicos na Europa, Oriente Médio e América Latina.

A norma DNER-PRO 011/79, procedimento – B, serviu como base para implementar o cálculo do reforço no Sistema de Gerenciamento em estudo. O Sistema é capaz de armazenar informações relativas à geometria, seção atual estrutural do pavimento, tráfego, campanhas de auscultação realizadas sobre o pavimento entre outros dados técnicos de caracterização da rede rodoviária.

Com todas essas informações, o sistema gera, em um módulo específico, a segmentação homogênea da rodovia para propósitos de análise. Essa segmentação é feita de acordo com as



necessidades de conservação e a critério do engenheiro responsável por executar esses planos, embora conte com ferramentas que facilitem o trabalho do técnico, como a realização de segmentações automáticas com base em critérios de tráfego, tipologia de pavimentos etc. Uma vez concluído isso, o sistema gera automaticamente valores estatísticos para definir cada segmento homogêneo com base nos parâmetros de auscultação armazenados.

Para o correto funcionamento da ferramenta, é necessário contar com os dados armazenados da tomada de deflexões sobre o pavimento.

Quando são feitas as medições de deflexões sobre o pavimento, um dos métodos mais comuns é utilizar um equipamento chamado deflectômetro de impacto (FWD). Esse equipamento é capaz de simular as cargas geradas por um veículo pesado passando sobre o pavimento por meio do uso de massas. Essas massas são impactadas contra o pavimento e, por meio de uma série de sensores chamados geofone, é possível transformar o sinal obtido pelo impacto em deformações.

A deformação causada pelo impacto é chamada de deflexão. Os geofones estão localizados em diferentes distâncias em relação ao centro da massa, com o objetivo de medir a resposta (deformação) do pavimento em cada um desses pontos e conhecer o afundamento da deflexão. A deflexão medida diretamente abaixo da massa é chamada de deflexão máxima e, por meio desse valor, é possível conhecer o estado da camada de rodagem de um pavimento.

Seguindo a Norma DNER-PRO 011/79, os dados iniciais necessários para o cálculo do reforço de um pavimento são os seguintes:

- Deflexão Característica da seção homogênea (D_c).
- Deflexão de projeto (Correção sazonal) (D_p).
- Deflexão admissível (D_{adm}).
- Índice de gravidade global (IGG).
- Tipo de material de reforço.

Para a programação dentro do sistema de gerenciamento, foram consideradas as seguintes informações:

A deflexão característica (D_c) é assumida como a média aritmética dos pontos amostrados na seção homogênea. A deflexão de projeto (D_p) é o produto da deflexão característica multiplicada pelo fator sazonal (F_s). Para determinar o fator sazonal dentro no sistema, foi adicionada uma caixa de entrada na qual o usuário deve inserir o fator a ser utilizado.



Figura 2. Inclusão do fator sazonal. - Fonte: SGP ICARO (Grupo Rauros-Engecorps).

Para o caso da deflexão admissível (D_{adm}) no sistema, foi considerado o limite máximo permitido para a rodovia. Esse valor pode ser inserido pelo usuário conforme mostrado na Figura 3.

Níveis Gerais de Qualidade

Parâmetro	Forçado
→ Pavimento : Flexível	
Textura (mm)	0.7
ATR (mm)	5
IRI (m/Km)	2.7
Deflexões (mm/100)	50
Fissuração Total (%)	30

Figura 3. Limite máximo de deflexão utilizado como deflexão admissível. - Fonte: SGP ICARO (Grupo Rauros-Engecorps).

O IGG é assumido como a média aritmética dos pontos amostrados na seção homogênea. Para o tipo de material de reforço, foi adicionado uma lista suspensa com as opções disponíveis de materiais e seus coeficientes de equivalência estrutural correspondente. Essa lista foi elaborada de acordo com descrição apresentada na Tabela IV da norma DNER-PRO 011/79.



Configuração Pro-11 (Brasil)

Tipo de material de reforço

- Concreto Betuminoso
- Concreto Betuminoso**
- Pré-misturado a quente de graduação densa
- Pré-misturado a frio de graduação densa
- Macadame betuminoso por penetração
- Brita graduada com ISC > 80
- Material Granular com ISC ≥ 60
- Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias superior a 45 kg/cm²
- Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias entre 45 y 28 kg/cm²
- Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias inferior a 28 kg/cm²

Figura 4. Lista para seleção do material da camada de reforço. Fonte: SGP ICARO (Grupo Rauros-Engecorps).

Com os parâmetros anteriores, o sistema de gestão foi programado para realizar o cálculo do reforço necessário utilizando a seguinte lógica:

- I. Calcula-se a deflexão de projeto utilizando a equação (1):

$$D_p = D_c * F_s \quad (1)$$

- II. Avalia-se a necessidade de reforço. Para isso, utiliza-se a lógica da Tabela II mostrada na norma DNER-PRO 011/79. (critérios para avaliação estrutural).

De acordo com a lógica acima, o sistema de gestão avalia o valor médio do parâmetro IGG. Se este for maior que 180, automaticamente recomenda-se executar um trabalho de reconstrução. IGG é assumido como a média aritmética dos pontos amostrados na seção homogênea.

- Se o IGG for menor que 180, o sistema verifica se a deflexão de projeto (D_p) é maior que a deflexão admissível (D_{adm}). Se (D_p) for menor que (D_{adm}), a sequência termina com um valor de reforço de 0 cm. Se (D_{adm}) for menor que (D_p), o cálculo do reforço continua nos seguintes passos.

- III. Realiza-se o dimensionamento do reforço do pavimento utilizando a equação (2):

$$h = K * \text{Log} \frac{D_p}{D_{adm}} \quad (2)$$

Onde:

h = Espessura necessária de reforço expressa em cm.

K = Fator de redução de deflexão próprio do material, que, de acordo com a normativa, deve ser usado um valor de 40 para concreto betuminoso.

- IV. Conhecido o valor da espessura necessária, faz-se a correção em função do tipo de material usado para o reforço empregando a equação (3):

$$hf = h * \text{fator de material usado} \quad (3)$$

Com o intuito de conhecer o fator de material usado, é empregada a equação (4), seguindo o descrito na Tabela IV da norma DNER-PRO 011/79:

$$\frac{2,00}{\text{Coef. equiv. estrutural do material utilizado}} \quad (4)$$

V. Por último, utiliza-se o seguinte critério lógico para decidir o trabalho final recomendado a ser executado na rodovia:

- Se o reforço for maior que 9 cm, recomenda-se a reconstrução do pavimento.
- Se o reforço for maior que 2,5 cm e menor que 9 cm, recomenda-se o reforço com o material selecionado da Tabela IV da norma.
- Se o reforço for menor ou igual a 2,5 cm, recomenda-se o reforço com uma camada do tipo GAP Graded.

É importante observar que os trabalhos de adequação descritos acima foram realizados em conjunto com uma concessionária específica de modo a atender necessidades técnicas particulares. Os reforços projetados, bem como as modificações na seleção da (D_{adm}), foram realizados de acordo com esses requerimentos específicos. Também é relevante mencionar que o cálculo dos eixos equivalentes ou do número N está presente nos cálculos para a redefinição da deflexão pós-obra, bem como para a evolução dos diferentes parâmetros que o sistema considera.

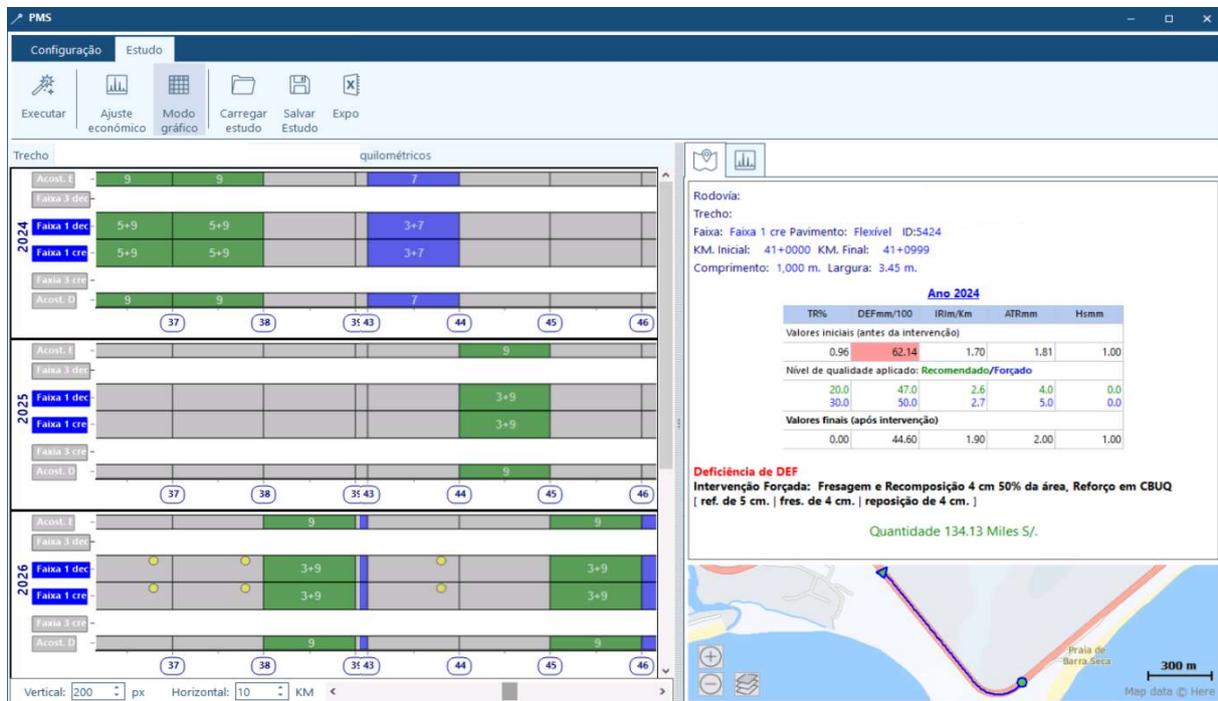


Figura 5. Apresentação de análise de intervenções no sistema em estudo. Fonte: SGP ICARO (Grupo Rauros-Engcorp).



VALIDAÇÃO E ESCOPO DE APLICAÇÃO

A adaptação da norma DNER-PRO 011/79 ao Sistema de Gerenciamento ICARO foi realizada recentemente com o objetivo de auxiliar às concessionárias na tomada de decisões técnicas e econômicas nos processos de restauração e conservação de pavimentos.

A integração da norma DNER-PRO 011/79 no sistema ICARO está em fase de validação final, um procedimento que inclui a realização de um amplo conjunto de testes e análises comparativas com dados históricos disponíveis, procedimentos de cálculo internacionais e outras metodologias convencionais anteriormente utilizadas. Os primeiros resultados indicam que as intervenções recomendadas pelo SGP em estudo estão de acordo com as patologias das estruturas de pavimento cadastradas. No entanto, ainda há desafios na calibração adequada dos resultados pós-obra, o que exigirá um volume maior de dados a ser considerado (por exemplo, medições de vários anos consecutivos e registro de informações adicionais de monitoramento) de modo que o sistema reflita com maior precisão as características reais do pavimento após a execução de uma determinada intervenção.

Adicionalmente, o escopo e as limitações da própria norma, bem como o procedimento de adaptação a metodologias mais atuais para determinar o desempenho do pavimento, precisarão ser estudados com maior profundidade nas etapas de implantação posteriores.

CONCLUSÕES

Atualmente, o uso de sistemas computacionais para o desenvolvimento das atividades laborais é quase indispensável. No contexto específico das vias terrestres e da engenharia aplicada a elas, o uso de softwares e ferramentas de apoio é fundamental para tentar prever de maneira mais precisa os comportamentos dos pavimentos e estimar as soluções a serem aplicadas neles. Contar com um Sistema de Gestão de Pavimentos atualizado e que implemente a normativa regional de um país torna-se um ativo importante para facilitar e otimizar o trabalho das concessionárias rodoviárias, além de manter-se na vanguarda no campo da engenharia rodoviária. A metodologia apresentada na Norma DNER-PRO 011/79, procedimento – B, foi programada, automatizada e incorporada dentro do Sistema de Gerenciamento em estudo. Os parâmetros utilizados nas equações de cálculo são armazenados no próprio Sistema de Gestão, tornando-o uma ferramenta de fácil uso. A interface gráfica permite entender melhor os resultados, mesmo para aqueles que não possuem conhecimentos especializados em engenharia de pavimentos.

REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO. The AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993*. Washington, DC.: AASHTO.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1979). *Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis. Procedimiento - B*. . DNER/DrDTc.



Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) . (22 de abril de 2024). *Ministerio dos Transportes*. Obtenido de Ministerio dos Transportes: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/acesso-a-informacao/institucional>

Diretório Brasil de Arquivos. (22 de abril de 2024). *Arquivo Nacional, Diretório Brasil de Arquivos*. Obtenido de Arquivo Nacional, Diretório Brasil de Arquivos: <https://dibrarq.arquivonacional.gov.br/index.php/departamento-nacional-de-estradas-de-rodagem-brasil-1937-2001>

Grupo RAUROS. (01 de 06 de 2024). *Grupo Rauros*. Obtenido de Grupo Rauros: <https://www.gruporauros.com/>