

Conhecendo o PROARTE

Conteudista:

Rogério Calazans Verly

Brasília, julho de 2022.

Conhecendo o PROARTE

Módulo 3

PROARTE - Priorização para as intervenções

Conforme estabelece O Art. 11 da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 03/DNIT SEDE, DE 1º DE ABRIL DE 2022, o servidor que optar por receber a GECC relativa à elaboração de material didático, cede, tacitamente e em caráter irrevogável, a titularidade dos direitos patrimoniais relativos aos materiais produzidos em decorrência dessa percepção. Desta forma, tendo em vista o contido no Processo nº 50600.021214/2022-42, o DNIT poderá revisar o material cedido, adaptá-lo e utilizá-lo livremente em outros eventos que venha a promover, bem como o ceder a outros órgãos e entidades federais.

Brasília, julho de 2022.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de um modelo de gerenciamento de OAEs	2
Figura 2 - O índice funcional correlaciona a nota técnica da OAE e VMDeq.	6
Figura 3 - O índice estratégico correlaciona a classificação da MRFE com as regiões de interesse.	6
Figura 4 - Curvas de degradação indicando diversos comportamentos.	9



SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO.....	1
2	SGO – ABRANGÊNCIA	2
3	PRIORIZAÇÃO NO DNIT.....	4
4	DESAFIOS NA GERÊNCIA DE OAEs.....	9
5	REFERÊNCIAS.....	11

1 APRESENTAÇÃO

No Módulo 1 foram apresentados os principais conceitos sobre o gerenciamento de estruturas e sobre os sistemas de gerenciamento de estruturas e no Módulo 2 as bases do PROARTE, permitindo entender os principais objetivos e atividades necessárias e como esse trabalho é distribuído no DNIT.

Este Módulo se dedica a apresentar os critérios de priorização utilizados para a seleção das estruturas que passarão por intervenções. O assunto já foi introduzido no Módulo 1 (item 4), quando foram apresentadas as principais partes de um sistema de gerenciamento de estruturas (banco de dados, análise dos dados e suporte à decisão). São conceitos que passam por constante evolução, mas que são bem aplicáveis para fins didáticos.

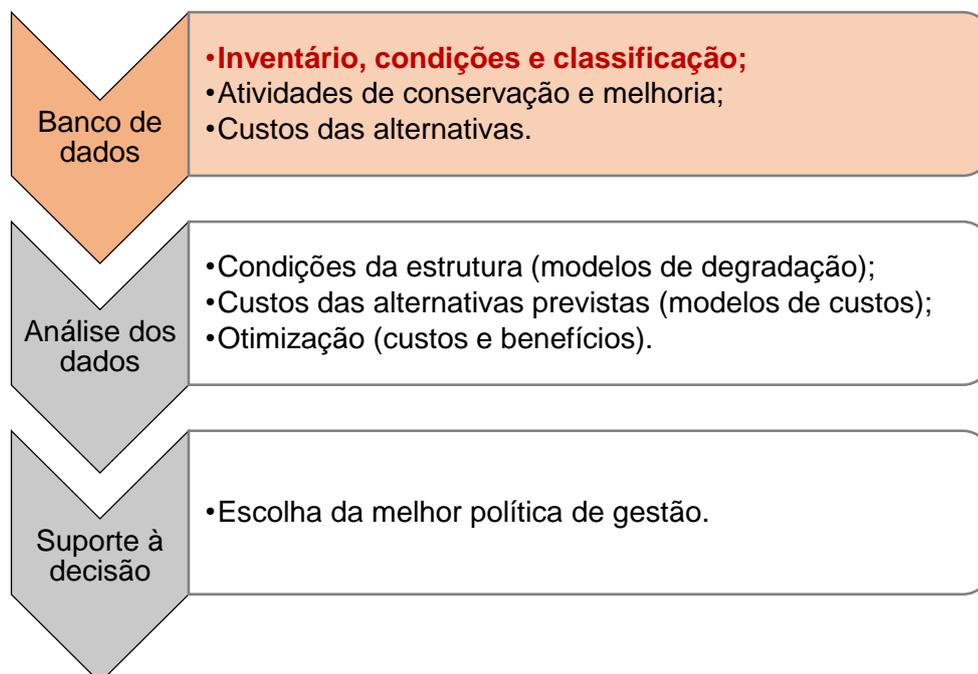
A seguir veremos como se enquadram os conceitos mostrados no Módulo 1 e como é feita a priorização atualmente.

2 SGO – ABRANGÊNCIA

No Módulo 1 foi possível ter uma visão geral de um sistema de gerenciamento de estruturas bastante abrangente, com todas as avaliações necessárias para fornecer um suporte robusto para a tomada de decisão, incluindo os Sistemas de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais -SGO, mas não foram feitas maiores considerações sobre suas funcionalidades e abrangência.

A metodologia utilizada no SGO do DNIT poderia ser objeto de um curso dedicado a esse fim, tal a abrangência do assunto. Mesmo assim, neste item será recapitulado o esquema apresentado no Módulo 1 utilizado para ilustrar um sistema de gerenciamento de OAEs, mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura de um modelo de gerenciamento de OAEs



Fonte: Adaptado de AASHTO (2013).

O SGO possui as funcionalidades referentes ao **Banco de Dados**, permitindo o armazenamento do inventário do estoque de estruturas (inspeções cadastrais), o estado de condição (inspeções rotineiras) e um sistema de classificação (Notas técnicas).

Atualmente, o DNIT não usa o módulo de análise dos dados, que deveria contemplar a análise da condição das estruturas ao longo do tempo, a avaliação econômica das alternativas de intervenção e a otimização de custos e benefícios.

Mesmos sem o módulo de análise dos dados, o DNIT buscou suprir essa lacuna com a inclusão de uma avaliação multicritério, com a consideração de parâmetros **estratégicos, funcionais e operacionais** dos trechos onde as estruturas estão inseridas. Essa metodologia será mostrada no próximo item.

TOME NOTA

O módulo de análise dos dados, por contar com uma ferramenta informatizada, deve ser capaz de analisar milhares de cenários de intervenções, em diferentes datas, buscando a otimização do investimento. No DNIT a avaliação atual contempla apenas três cenários: reabilitação, manutenção e descoberto.

Observação: deixar a estrutura sem intervenção em um determinado período também é uma estratégia.

PRATICANDO

Leia os itens 1 e 2 do Anexo II da Instrução Normativa nº 09/DNIT SEDE, de 26 de abril de 2022, buscando identificar a importância da priorização das estruturas para intervenções e as características de cada uma das estratégias de intervenção: reabilitação, manutenção e descoberto.

3 PRIORIZAÇÃO NO DNIT

A Instrução Normativa nº 9, de 26 de abril de 2022, traz em seu Anexo II considerações sobre a seleção e priorização das intervenções.

De início, cabe destacar que grande parte das pontes e viadutos existentes nas rodovias federais foram construídas há mais de 50 anos, com o objetivo de atender à demanda específica da época em que foram projetadas e construídas, de forma que grande parte carece de atenção quanto à **adequação funcional**, por meio do alargamento para acomodação das vias onde estão inseridas, ou pela inclusão de barreiras em substituição do conjunto guarda-rodas/guarda-corpo.

Do ponto de vista estrutural, o assunto deve ser tratado com muita cautela, retomando os princípios do projeto estrutural.

Na fase de projeto não se conhecem com exatidão o carregamento e a capacidade resistente dos materiais, motivo pelo qual o primeiro é majorado e o segundo minorado por coeficientes apropriados.

Mesmo tendo em mente que os pesos dos veículos aumentaram desde o projeto e a execução das OAEs mais antigas, as **inspeções rotineiras** se mostram uma boa ferramenta para avaliar o comportamento em serviço dos elementos estruturais das OAEs.

Dito isso, pode-se dizer que o fato do Peso Bruto Total - PBT dos veículos ter aumentado não é motivo suficiente para nos levar a concluir que as pontes estão estruturalmente obsoletas.

TOME NOTA

Algumas estruturas passam de forma recorrente por avaliação de sua **capacidade estrutural**. A Resolução nº 1, de 8 de janeiro de 2021, estabelece as normas para a utilização das rodovias por veículos com cargas indivisíveis e excedentes em peso e dimensões. O Art. 12. define que, “quando o PBT do reboque ou semirreboque for **igual ou superior a 288,0 t** (duzentos e oitenta e oito toneladas), deverá ser apresentado o EVE de todas as OAEs que constam ao longo do itinerário a ser percorrido” grifo nosso.

EVE - Estudo de Viabilização Estrutural.

A priorização usa como base a Norma DNIT 010/2004 - PRO *Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento*, que classifica as estruturas em cinco níveis por meio das Notas Técnicas - NTs, que variam de 1 a 5, sendo 1 a pior condição e 5 a melhor condição.

Ocorre que, como o número de OAEs na malha sob administração do DNIT é considerável, cerca de 8.000 estruturas, muitas delas receberão a mesma NT. Nesse caso, deve haver um ranqueamento das estruturas para definir aquelas que receberão investimentos de forma prioritária.

Conforme já mencionado no item anterior, o SGO não possui o módulo de análise dos dados, que leva em consideração os modelos de degradação, os modelos de custos e a otimização entre custos e benefícios para o administrador e para os usuários. Então, além da NT das estruturas, a metodologia leva em conta questões econômicas que permitem ordenar as OAEs da mais prioritária para a menos prioritária, para o recebimento de investimentos.

A seguir será feita uma breve explanação sobre a metodologia, que se baseia em **três índices: funcional, estratégico e operacional**.

O primeiro índice tratado é o **funcional**, mostrado na Figura 2. A condição funcional da OAE pode ser relacionada com a trafegabilidade e segurança dos usuários, diretamente ligados à dinâmica dos veículos e ao custo operacional.

Figura 2 - O índice funcional correlaciona a nota técnica da OAE e VMDeq.

Índice Funcional - IF				
Criticidade da OAE	VMDeq			
	<4000	4000 - 6000	6000 - 8000	>8000
	1	2	3	4
1	0,7	0,8	0,9	1,0
2	0,6	0,6	0,7	0,9
3	0,4	0,5	0,5	0,6
4	0,2	0,3	0,4	0,5
5	0,2	0,3	0,4	0,4

Fonte: PNMR 2017

Isolando-se a criticidade da OAE (Nota Técnica), se observa que o índice funcional aumenta à medida que o volume do tráfego (VMDeq) aumenta, refletindo o custo operacional dos trechos de maior movimentação. Por outro lado, isolando-se o VMDeq, se observa que o índice aumenta à medida que a condição da OAE piora (mais próximo da NT = 1), refletindo a necessidade de intervenção nas estruturas mais mal avaliadas.

O índice **estratégico** (Figura 3) consolida a correlação existente entre a Malha Rodoviária Federal Estratégica - MRFE e as regiões de interesse. Este índice permite a alocação dos recursos de acordo com a forma escalonada dentro de uma mesma classificação da MRFE.

Figura 3 - O índice estratégico correlaciona a classificação da MRFE com as regiões de interesse.

Índice Estratégico - Ie					
MRFE		Regiões de Interesse			
		Sem Prior.	Baixa	Média	Alta
N1	1	0,7	0,8	0,9	1,0
N2	2	0,6	0,6	0,7	0,9
N3	3	0,5	0,5	0,6	0,8
N4	4	0,4	0,5	0,5	0,7

Fonte: PNMR 2017

SAIBA MAIS

Com base em parâmetros específicos, o DNIT definiu a Malha Rodoviária Federal Estratégica - MRFE. Não é objetivo do presente curso apresentar o procedimento utilizado, bastando esclarecer que, para fins de priorização e otimização dos recursos disponíveis para a manutenção, a malha foi subdividida em quatro níveis hierárquicos: N1, N2, N3 e N4, sendo N1 com prioridade decrescente de N1 para N4.

O SGO apresenta Notas Técnicas que refletem a avaliação feita na estrutura em uma inspeção rotineira, mas não fornece uma avaliação pormenorizada de como a estrutura se comporta sob diferentes volumes de tráfego. Assim, mesmo que de forma simplificada, **o índice operacional** correlaciona o volume de tráfego sobre a estrutura com o maior volume de tráfego do estado da federação onde a OAE está localizada. A Equação 1 apresenta a correlação mencionada.

$$I_o = \frac{VMDa^i}{VMDa} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

I_o = Índice operacional para a OAE;

$VMDa^i$ = VMDa referente ao segmento do SNV da OAE;

$VMDa$ = maior VMDa referente ao estado no qual a OAE está localizada.

Por fim, com base nos pesos atribuídos a cada um dos índices, é calculado o Número de Ordem - NO de cada OAE do estoque em análise, conforme mostrado na Equação 2.

$$NO = \frac{I_f \cdot P_f + I_e \cdot P_e + I_o \cdot P_o}{P_f + P_e + P_o} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

NO = Número de Ordem da OAE;

I_f = Índice funcional;

Pf = Peso funcional;
Ie = Índice estratégico;
Pe = Pe estratégico;
Io = Índice operacional; e
Po = Peso operacional.

Interessante notar que a Nota Técnica da estrutura, que reflete estado de condição, é utilizado apenas em um dos três índices propostos. Isso se mostra totalmente alinhado com a estrutura mostrada na Figura 1, em que variáveis econômicas são trazidas para o bojo da análise.

De forma resumida, e em uma análise bastante superficial, uma estrutura “A” com NT = 4, mas localizada em uma rodovia muito movimentada e com muitas cargas passando sobre ela, poderia ter prioridade em relação a uma estrutura “B” com NT = 3 (estado de condição pior que a estrutura “A”), que estiver localizada em uma rodovia pouco movimentada e com poucas cargas passando sobre ela.

Seria de se esperar que OAEs com NTs menores obtivessem números de ordem prioritários em relação a estruturas em melhores condições. Como exemplificado no parágrafo anterior, os índices estratégico e operacional equilibram a análise e permitem uma avaliação mais completa.

Os pesos aplicados na Equação 2 não são fixos e podem ser alterados pelos gestores. Prática também alinhada com a estrutura mostrada na Figura 1, dando liberdade de ação em vez de um sistema engessado, mostrando que a avaliação será um suporte para a decisão.

PRATICANDO

Leia o item 3 do Anexo II da Instrução Normativa nº 09/DNIT SEDE, de 26 de abril de 2022, buscando identificar os índices que são utilizados no cálculo do Número de Ordem - NO. Tente ainda estabelecer um paralelo entre a priorização feita no DNIT com a estrutura mostrada na Figura 1.

4 DESAFIOS NA GERÊNCIA DE OAEs

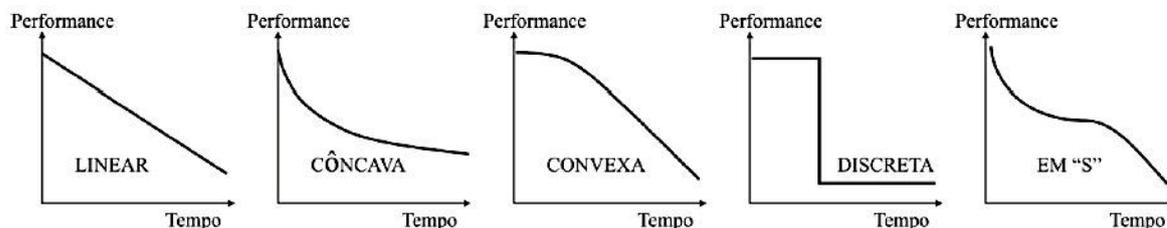
A aplicação otimizada dos recursos disponíveis para a manutenção é essencial para se manter o estoque de estruturas seguro e funcional. Conforme mostrado no Módulo 1, em especial na Figura 1, não se conhece com exatidão como a degradação dos materiais ocorrerá ao longo da vida útil da estrutura.

Os modelos de degradação podem ser de natureza empírica ou mecanicista. **Modelos de natureza empírica** são desenvolvidos com base em dados experimentais ou observados nas estruturas existentes. Associados aos mecanismos de degradação dos materiais, os modelos teóricos de degradação dão origem aos **modelos mecanicistas**. Como estão associados aos mecanismos de degradação, os modelos mecanicistas são mais difíceis de serem aplicados para um grande conjunto de estruturas.

Os modelos podem ainda ser classificados como sendo de natureza determinística ou probabilística. Os **modelos determinísticos** consideram que a estrutura se deteriora, de acordo com uma função, de uma condição máxima a uma condição mínima.

Na Figura 4 são mostradas algumas curvas de degradação representando diferentes comportamentos dos materiais ao longo do tempo.

Figura 4 - Curvas de degradação indicando diversos comportamentos.



Fonte: adaptado de VAN DER TOORN, 1992; SHOHET et al., 1999

É fácil imaginar que algumas manifestações patológicas, como a corrosão das armaduras, dependem de variáveis que podem ter grandes implicações com

pequenos desvios. A redução do cobrimento durante a execução em apenas 1 cm pode comprometer uma análise, gerando um nível de incerteza considerável.

Tal nível de incerteza leva à adoção de **modelos probabilísticos**, que consideram a deterioração ao longo do tempo desconhecida, havendo apenas uma probabilidade de que a deterioração ocorra de acordo com uma determinada função.

Os modelos probabilísticos requerem um grande aumento no esforço numérico, requerendo máquinas mais potentes e modelos muito bem desenhados. Todo esse aparato numérico e computacional não eliminam a necessidade de dados reais das estruturas, obtidos durante as inspeções.

Muitas pesquisas, como a desenvolvida por ALMEIDA (2013), mostram a viabilidade de implementação de sistemas de gerenciamento de estruturas mais robustos e preparados para fornecer o suporte adequado para a decisão dos gestores.

TOME NOTA

O trabalho apresentado em ALMEIDA (2013) trata da previsão da degradação por meio de modelos probabilísticos baseados em Matrizes de Markov.

Nesse sentido, o desafio na gerência de estruturas é incorporar ao sistema existente novas funcionalidades, principalmente voltadas à análise dos dados (modelos de degradação, modelos econômicos e otimização). Como foi mostrado ao longo deste módulo, o DNIT possui uma metodologia utilizada para a priorização das estruturas para intervenções, mas fica demonstrado que há possibilidade de avanços.

5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. M. M. R. M. O. **Sistema de gestão de pontes com base em custos de ciclo de vida**. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. 380 p.

VAN DER TOORN, A. *The maintenance of civil engineering structures*. Heron. s.1. v. 39, n. 4. p. 3-34, 1992.