

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VITOR MACALÓS AVANZI

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE RISCO ESTRUTURAL DE PONTES RODOVIÁRIAS
DE CONCRETO**

TOLEDO

2025

VITOR MACALÓS AVANZI

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE RISCO ESTRUTURAL DE PONTES RODOVIÁRIAS
DE CONCRETO**

Structural risk assessment of concrete road bridges

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Dra Lucia Bressiani.

TOLEDO

2025



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VITOR MACALÓS AVANZI

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE RISCO ESTRUTURAL DE PONTES RODOVIÁRIAS
DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 19/novembro/2025

Lucia Bressiani
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Desirè Coraça Possa
Doutorado em Engenharia de Energia na Agricultura
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lucas Boabaid Ibrahim
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**TOLEDO
2025**

AGRADECIMENTOS

Ao longo desta caminhada, muitas pessoas me ofereceram apoio, inspiração e orientação. Este trabalho é fruto de um esforço coletivo, e sou grato a todos que estiveram ao meu lado nessa trajetória marcada por desafios e superação.

A Deus, agradeço por iluminar meu caminho, fortalecer minha fé e guiar cada passo desta jornada.

Ao meu pai, Marcelo Avanzi, por acreditar em mim, pelo apoio incondicional e por ser exemplo de dedicação e perseverança.

À minha mãe, Graziela Maria Macalós Avanzi, por sua presença constante, por me apoiar nas incertezas e se preocupar comigo em cada dificuldade. Sua fé e força são exemplos que levarei para a vida.

De forma especial, agradeço à minha namorada Isabeli Soares Roloff, pela compreensão nas ausências, por ser alívio e luz durante os momentos difíceis, pelo carinho constante e por acreditar em mim mesmo quando as dificuldades pareciam grandes. Sua presença foi fundamental para que eu mantivesse o foco e a motivação até o fim desta jornada.

Ao meu irmão, Artur Macalós Avanzi, pelas risadas, apoio e companheirismo.

Aos familiares e amigos, pelo carinho, incentivo e torcida constante.

Aos colegas de sala, pela convivência, pelas trocas de conhecimento e pelos momentos que tornaram essa jornada mais leve.

Ao corpo docente da UTFPR, pela dedicação e pelo conhecimento compartilhado, que contribuíram imensamente para meu crescimento pessoal e profissional.

À minha orientadora, Professora Dra. Lucia Bressiani, minha sincera gratidão pela orientação, paciência e entusiasmo. Seu apoio e otimismo tornaram este processo mais rico e inspirador.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu aprendizado ao longo desta trajetória.

RESUMO

A inspeção de pontes é uma etapa essencial para garantir a segurança, a durabilidade e o desempenho das estruturas viárias. Por meio desse processo, é possível identificar manifestações patológicas, avaliar o estado de conservação dos elementos estruturais e planejar ações preventivas ou corretivas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o grau de risco estrutural de uma ponte rodoviária de concreto, visando aprimorar o processo de diagnóstico e manutenção dessas estruturas. A metodologia adotada caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem mista, com caráter exploratório e descritivo. Inicialmente foram analisados dezessete laudos técnicos de pontes localizadas na região Oeste do Paraná, a partir dos quais foram identificadas as principais manifestações patológicas. Com base nesses resultados, foi adaptado um instrumento de avaliação fundamentado na Metodologia GDE/UnB, complementada pelas normas ABNT NBR 9452:2023 e DNIT 010/2004-PRO. A ferramenta foi organizada em forma de planilha eletrônica e permitiu o registro padronizado de dados, a classificação das anomalias e o cálculo do grau de deterioração estrutural. Em seguida, foi realizada a inspeção da ponte sobre o Rio São José, no município de Cascavel (PR). Os resultados das análises dos laudos técnicos apontaram que as manifestações patológicas mais frequentes nas pontes analisadas foram fissuras no pavimento, presentes em 47,07% das pontes, em seguida foram constatadas as fissuras em vigas e degradação do concreto de pilares, ambos presentes em 41,18% das pontes. Com relação a ponte onde foi realizada a inspeção, a mesma foi classificada com grau de deterioração médio, apresentando uma condição estrutural aceitável, que demanda planejamento de intervenções a longo prazo, com ênfase na melhoria da drenagem, selagem das fissuras e recuperação das áreas com início de corrosão.

Palavras-chave: inspeção de pontes; risco estrutural; concreto armado; manifestação patológica.

ABSTRACT

Bridge inspection is an essential stage for ensuring the safety, durability, and performance of roadway structures. This process makes it possible to identify pathological manifestations, assess the conservation state of structural elements, and plan preventive or corrective actions. In this context, the present study aimed to evaluate the structural risk level of a reinforced concrete highway bridge, with the purpose of improving the diagnostic and maintenance processes of such structures. The adopted methodology is characterized as applied research, using a mixed-methods approach with exploratory and descriptive features. Initially, seventeen technical inspection reports of bridges located in the Western region of Paraná were analyzed, from which the main pathological manifestations were identified. Based on these results, an assessment instrument was adapted using the GDE/UnB Methodology, complemented by ABNT NBR 9452:2023 and DNIT 010/2004–PRO standards. The tool was organized in a spreadsheet format and enabled standardized data recording, anomaly classification, and calculation of the structural deterioration level. Subsequently, an inspection was carried out on the bridge over the São José River, in the municipality of Cascavel (PR). The analysis of the technical reports showed that the most frequent pathological manifestations in the evaluated bridges were pavement cracking, found in 47.07% of the structures, followed by beam cracking and concrete degradation in columns, both present in 41.18% of the bridges. Regarding the inspected bridge, it was classified as having a moderate deterioration level, presenting an acceptable structural condition that requires long-term intervention planning, with emphasis on improving drainage, sealing cracks, and restoring areas with early-stage corrosion.

Keywords: bridge inspection; structural risk; reinforced concrete; deterioration assessment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Elementos de uma ponte | 14 |
| Figura 2 – Ponte com estrutura tipo viga | 14 |
| Figura 3 – Ponte com estrutura tipo arco..... | 15 |
| Figura 4 – Ponte com estrutura tipo pênsil..... | 15 |
| Figura 5 – Ponte com estrutura tipo estaiada..... | 15 |
| Figura 6 – Ponte com estrutura tipo pórtico | 16 |
| Figura 7 - Fluxograma da metodologia GDE..... | 22 |
| Figura 8 – Fluxograma | 32 |
| Figura 9 – Ponte sobre o rio São José | 36 |
| Figura 10 - Manifestações patológicas..... | 38 |
| Figura 11 – Exemplos de manifestações patológicas encontradas | 38 |
| Figura 12– Exemplos de manifestações patológicas encontradas | 39 |
| Figura 13 - Exemplos de eflorescência | 40 |
| Figura 14 - Exemplos de armadura exposta | 40 |
| Figura 15 - Falha de concretagem e fissuras nas barreiras rígidas..... | 44 |
| Figura 16 - Fissura e deslocamento nas barreiras rígidas | 44 |
| Figura 17 - Deslocamento do concreto das barreiras rígidas | 45 |
| Figura 18 - Fissura no pavimento | 45 |
| Figura 19 - Manchas de infiltração na laje..... | 46 |
| Figura 20 - Tubos de drenagem em bom estado | 46 |
| Figura 21 - Pilar em bom estado de conservação | 47 |
| Figura 22 - Talude em bom estado de conservação | 47 |
| Figura 23 - Imagem geral da estrutura da ponte..... | 48 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Fator de ponderação do dano para pilares | 23 |
| Quadro 2 - Fator de intensidade do dano..... | 24 |
| Quadro 3 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi) | 24 |
| Quadro 4 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento e ações recomendadas | 26 |
| Quadro 5 - Famílias de elementos | 26 |
| Quadro 6 - Fatores de relevância estrutural das famílias de elementos (Fr) | 27 |
| Quadro 7 - Classificação do nível de deterioração global da estrutura (Gd) | 27 |
| Quadro 8 - Panorama dos dados básicos das pontes | 32 |
| Quadro 9 - Ficha cadastral ponte sobre o Rio São José | 42 |
| Quadro 10 - Valores de Fp, Fi e D para os 4 pilares | 48 |
| Quadro 11 - Valores de Fp, Fi e D para as 2 vigas..... | 49 |
| Quadro 12 - Valores de Fp, Fi e D para a laje..... | 49 |
| Quadro 13 - Valores de Fp, Fi e D para as barreiras | 50 |
| Quadro 14 - Valores de Fp, Fi e D para a pista de rolamento | 50 |
| Quadro 15 - Gde da ponte analisada | 51 |
| Quadro 16 - Grau de deterioração da ponte sobre o Rio São José | 52 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INEP | Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira |
| NBR | Norma Brasileira |
| OAE | Obra de Arte Especial |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 | Justificativa | 11 |
| 1.2 | Objetivos | 12 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral..... | 12 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos | 12 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 13 |
| 2.1 | Tipos de pontes rodoviárias | 13 |
| 2.2 | Normas técnicas aplicáveis | 16 |
| 2.3 | Mecanismos de Degradação em Estruturas de Concreto | 18 |
| 2.4 | Métodos de avaliação de riscos estruturais | 19 |
| 2.5 | Fundamentação do método GDE/UnB | 21 |
| 2.5.1 | Fator de ponderação do dano (F_p)..... | 23 |
| 2.5.2 | Fator de intensidade do dano (F_i)..... | 24 |
| 2.5.3 | Grau do dano (D)..... | 25 |
| 2.5.4 | Grau de deterioração do elemento (G_{de})..... | 25 |
| 2.5.5 | Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df})..... | 26 |
| 2.5.6 | Fator de Relevância Estrutural (F_r) | 26 |
| 2.5.7 | Grau de Deterioração da Estrutura (G_d) | 27 |
| 2.6 | Ferramentas e Tecnologias Utilizadas na Inspeção Estrutural | 28 |
| 2.7 | Casos de estudo ou referências semelhantes | 29 |
| 3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 31 |
| 3.1 | Descrição da pesquisa | 31 |
| 3.2 | Coleta de dados | 32 |
| 3.3 | Informações coletadas | 33 |
| 3.4 | Instrumento para inspeção de pontes | 35 |
| 3.5 | Avaliação do grau de risco estrutural de uma ponte | 36 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 4.1 | Análise dos dados das inspeções das pontes | 37 |
| 4.2 | Realização da inspeção de uma ponte | 42 |
| 5 | CONCLUSÃO | 53 |
| | REFERÊNCIAS | 55 |
| | APÊNDICE A – INSTRUMENTO PARA INSPEÇÃO DE PONTES | 58 |

1 INTRODUÇÃO

As pontes rodoviárias são elementos estruturais essenciais para o funcionamento do sistema de transporte, desempenhando papel crucial na mobilidade de pessoas e cargas, bem como no desenvolvimento econômico e social das regiões onde estão inseridas. Entretanto, com o passar do tempo, essas estruturas estão sujeitas ao surgimento de manifestações patológicas, causadas por ações ambientais, aumento das cargas de tráfego e ausência de manutenção adequada. Esse processo de deterioração impacta diretamente a durabilidade e a segurança das obras de arte especiais (OAE), exigindo intervenções corretivas cada vez mais urgentes.

Estudos demonstram que muitas das pontes existentes no Brasil foram projetadas com base em normas e carregamentos que no passado atendiam as demandas, mas na atualidade não refletem mais a realidade do tráfego. Isso se agrava diante da escassez de diretrizes específicas voltadas para a avaliação da segurança de estruturas antigas, visto que as normas técnicas brasileiras, em sua maioria, foram concebidas para o dimensionamento de obras novas. Como consequência, a aplicação dessas normas em pontes existentes pode levar a diagnósticos excessivamente conservadores, com implicações diretas sobre os custos de reforço estrutural (Cruz *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2022).

Além disso, a maior parte da malha de pontes rodoviárias brasileiras apresenta um ciclo de vida avançado, sendo que muitas dessas estruturas foram construídas nas décadas de 1970 e 1980 e hoje enfrentam deficiências estruturais associadas ao desgaste do tempo, falhas construtivas e manutenção insuficiente. A presença dessas patologias, quando não tratadas precocemente, pode comprometer não só o desempenho estrutural das pontes, como também a segurança dos usuários (Rezende, 2019).

No cenário atual, a gestão eficaz das pontes rodoviárias passa necessariamente pela realização de inspeções sistemáticas, elaboração de diagnósticos técnicos precisos e adoção de instrumentos que permitam priorizar ações de manutenção e reabilitação com base no grau de risco das estruturas. Métodos modernos de avaliação, como os baseados em confiabilidade estrutural e índices de deterioração, têm se demonstrado eficazes nesse processo, oferecendo

suporte à tomada de decisão e à alocação racional de recursos (Euqueres, 2011; Oliveira *et al.*, 2019).

Dessa forma, o presente trabalho contempla a avaliação do grau de risco estrutural de uma ponte localizada na região Oeste do Paraná, por meio de aplicação de metodologias consolidadas na literatura, aliado à análise de informações obtidas em laudos técnicos. Com isso, busca-se contribuir para a implantação de uma estratégia de gestão baseada em evidências, alinhada às melhores práticas da engenharia estrutural.

1.1 Justificativa

As inspeções técnicas em pontes rodoviárias são fundamentais para assegurar a segurança estrutural e o funcionamento adequado da malha viária. No entanto, no Brasil, há uma falta de uniformidade nos procedimentos de avaliação, além de divergências entre os critérios utilizados por diferentes órgãos públicos e concessionárias. Essa variação metodológica prejudica a análise comparativa entre as estruturas e reduz a eficiência da gestão da infraestrutura (Oliveira *et al.*, 2019).

Diante do avançado estado de deterioração de muitas vias e do aumento constante do fluxo de veículos, é essencial adotar métodos precisos para avaliar o desgaste das pontes, categorizando-as conforme seu nível de risco. Dessa forma, é possível direcionar intervenções de forma mais estratégica. A ausência de um padrão nacional de classificação pode resultar em má alocação de recursos e, ainda, em potenciais ameaças à segurança dos usuários (Rezende, 2019; Santos *et al.*, 2022).

Atualmente, grande parte das avaliações de pontes no país ainda depende de métodos convencionais, baseados em inspeções visuais e análises subjetivas. Por isso, é crucial implementar sistemas estruturados que incluam parâmetros técnicos para medir desempenho, confiabilidade e vida útil. Pesquisas recentes indicam que modelos probabilísticos, fundamentados em análises de confiabilidade, oferecem uma avaliação mais precisa e econômica da segurança de pontes existentes (Cruz *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como propósito avaliar o grau de risco estrutural de uma ponte por meio da aplicação de uma metodologia específica sobre o tema. Ressalta-se que a metodologia pode ser replicada em diferentes regiões, constituindo-se em uma ferramenta de apoio à gestão de infraestrutura, fundamentada em dados objetivos e critérios técnicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o grau de risco estrutural de uma ponte em concreto armado da região oeste do Paraná.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Analisar os dados obtidos por meio de 17 laudos técnicos de inspeção de pontes rodoviárias de concreto;
2. Identificar e categorizar as principais manifestações patológicas presentes nas estruturas avaliadas;
3. Identificar as soluções técnicas utilizadas nos laudos técnicos analisados;
4. Adaptar um instrumento para realizar a inspeção de pontes em concreto armado.

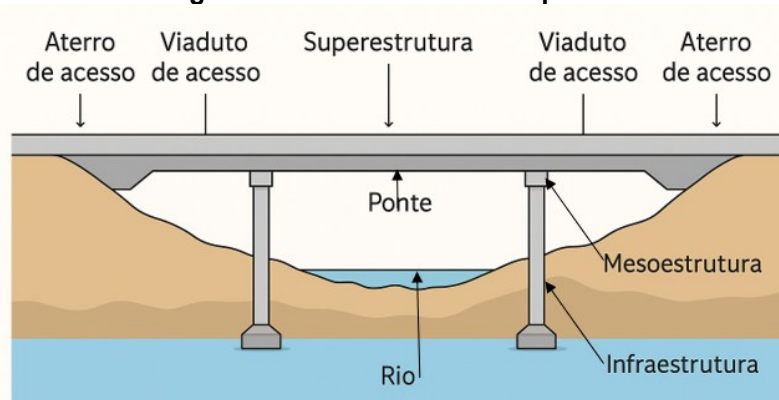
2 REFERENCIAL TEÓRICO

A segurança e a durabilidade das pontes rodoviárias de concreto são fundamentais para o desenvolvimento regional no estado do Paraná, que possui um grande número dessas estruturas. Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados à avaliação do grau de risco estrutural, abordando as tipologias de pontes, mecanismos de degradação, métodos de inspeção e monitoramento, além das normas técnicas aplicáveis. Também são discutidos estudos e experiências anteriores voltados à análise de risco estrutural, fornecendo a base teórica necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Tipos de pontes rodoviárias

As pontes desempenham um papel fundamental na infraestrutura de transportes, especialmente no segmento rodoviário, ao possibilitar a superação de obstáculos naturais ou artificiais e assegurar a continuidade e a eficiência das vias. Segundo Pfeil (1979), as pontes são descritas como estruturas destinadas a ultrapassar barreiras que interrompem a continuidade das estradas, como rios, vales, braços de mar ou outras vias.

De acordo com Correia e Mendes (2021), as pontes podem ser classificadas com base em sua função como rodoviárias, ferroviárias, de pedestres e também de acordo com os materiais empregados em sua construção, como concreto armado, concreto protendido, aço, madeira e composições mistas. A escolha do tipo de ponte deve levar em conta fatores como as características geográficas do local, o vão a ser vencido, a carga estimada, o ambiente ao redor e os custos envolvidos. Majoritariamente as pontes são divididas em três partes principais, superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Elementos de uma ponte

Fonte: Adaptado de Marchetti (2018)

Nas pontes rodoviárias, são comuns as tipologias estruturais como laje, viga, pórtico, arco, pênsil e estaiada. Essas formas estruturais são selecionadas de acordo com sua capacidade de distribuir esforços e adaptar-se às condições específicas do terreno e ao uso previsto da obra. Entre elas, destacam-se as pontes com lajes em balanço, ou pontes cantilever, que se mostram uma alternativa eficiente para vencer grandes vãos. Essas estruturas, contudo, exigem atenção à espessura das lajes e à resistência dos materiais devido aos elevados momentos fletores ao longo de sua extensão (Correia e Mendes, 2021). A Figura 2 apresenta a um exemplo de ponte com estrutura do tipo viga.

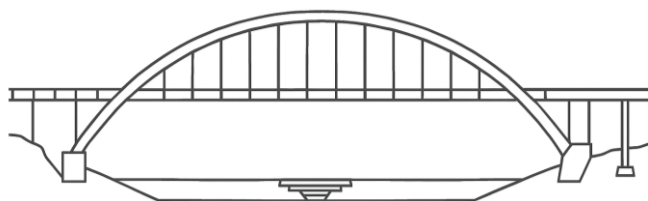
Figura 2 – Ponte com estrutura tipo viga

Fonte: Adaptado de Debs e Takeya (2003)

É comum nessa tipologia seções transversais uniformes ou variáveis. Além disso, as vigas podem apresentar formatos diversos, da mesma forma como seus materiais, que podem ser em aço, concreto armado ou madeira, variando a seção conforme o material escolhido (Rezende, 2019).

Nas estruturas tipo arco (Figura 3), as cargas mais relevantes são as forças normais de compressão, que podem atuar isoladamente ou em conjunto com momentos fletores.

Figura 3 – Ponte com estrutura tipo arco



Fonte: Adaptado de Debs e Takeya (2003)

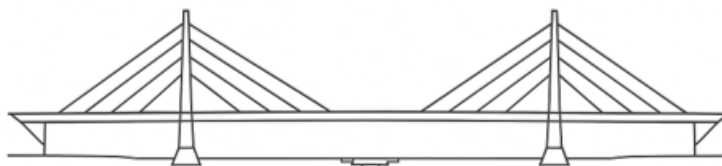
As pontes suspensas (Figuras 4 e 5) apresentam um sistema de cabos que são especialmente adequadas para vãos de média e grande extensão. Nessas estruturas, os esforços principais são de tração axial, o que permite vencer vãos superiores a 1000 metros com eficiência, como demonstrado nos estudos de Pfeil (1983) e Podolny e Scalzi (1986).

Figura 4 – Ponte com estrutura tipo pênsil



Fonte: Adaptado de Debs e Takeya (2003)

Figura 5 – Ponte com estrutura tipo estaiada



Fonte: Adaptado de Debs e Takeya (2003)

Nas pontes em estrutura de pórtico (Figura 6) as vigas do tabuleiro estão integradas diretamente aos pilares. Essa configuração é adotada com o objetivo de reduzir os vãos das vigas lineares.

Figura 6 – Ponte com estrutura tipo pórtico



Fonte: Adaptado de Debs e Takeya (2003)

O desenvolvimento das pontes ao longo do tempo acompanhou os avanços da engenharia e a disponibilização de novos materiais. No Brasil, a primeira ponte de concreto armado foi construída em 1908, no estado do Rio de Janeiro, marcando o início da aplicação desse material em obras de arte especiais (Oliveira e Oliveira, 2018). A expansão da malha rodoviária nacional, no entanto, ganhou maior impulso com a criação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em 1945, promovendo a padronização e o aprimoramento das normas técnicas para pontes.

Nesse contexto, as normas brasileiras têm sido atualizadas para atender às demandas contemporâneas. A NBR 7188/2013, por exemplo, introduziu os trens-tipo TB-450 e TB-240 como padrões de carga móvel para o dimensionamento de pontes rodoviárias, ajustando os parâmetros às necessidades atuais de tráfego (Oliveira e Oliveira, 2018). Apesar disso, muitas das pontes existentes foram projetadas com base em normas mais antigas, ressaltando a necessidade de reavaliar a segurança estrutural dessas obras.

Santos *et al.* (2022) ressaltam a importância estratégica das pontes rodoviárias no desenvolvimento socioeconômico, destacando a necessidade de critérios rigorosos de dimensionamento e avaliação estrutural. Com o aumento contínuo das cargas de transporte, é fundamental incluir a durabilidade, a manutenção preventiva e o monitoramento constante na gestão dessas estruturas.

2.2 Normas técnicas plicáveis

No Brasil, a avaliação, manutenção e recuperação de pontes rodoviárias de concreto armado seguem normas técnicas que definem metodologias e critérios específicos. Tais regulamentações são essenciais para assegurar a segurança, a longevidade e o desempenho adequado dessas obras de arte especiais (OAE), que integram a infraestrutura viária do país.

A DNIT 010/2004-PRO é a principal norma utilizada para inspeções em pontes de concreto armado e protendido. Conforme destacado por Vitório e Barros

(2013), esse documento exige o preenchimento de formulários padronizados, os quais registram as características geométricas, estruturais e funcionais das pontes, além de catalogar e classificar eventuais danos. Esses dados servem como base para projetos de reparo, reforço ou, em casos extremos, substituição da estrutura.

Além disso, Carvalho *et al.* (s.d.) ressaltam que tanto a DNIT 010/2004-PRO quanto o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários do DNIT são instrumentos fundamentais para diagnosticar avarias e planejar intervenções. Esses documentos não apenas orientam a inspeção visual, mas também estabelecem prioridades de ação com base no nível de deterioração identificado.

Para inspeções mais detalhadas, a ABNT NBR 9452:2023 é a referência normativa mais relevante. Ela categoriza os componentes das pontes em primários (críticos para a estabilidade) e complementares, além de especificar métodos para avaliações visuais e técnicas. Ramalho da Silva e Ribeiro (2020) exemplificam sua aplicação em um estudo sobre uma ponte no Rio Tocantins, no qual a norma auxiliou na identificação de elementos prioritários e na definição de estratégias de análise patológica.

Entretanto, Müller (2004) aponta uma carência nas normas brasileiras no que diz respeito a critérios para reforço e recuperação estrutural, o que demanda a incorporação de conhecimentos práticos e referências internacionais. O autor sugere a criação de modelos matemáticos e testes em campo para sistematizar esses procedimentos, melhorando a eficiência das intervenções.

Outro exemplo da aplicação das normas é o trabalho de Vitória (2008), que analisou o risco estrutural de 40 pontes rodoviárias utilizando adaptações da DNIT 010/2004-PRO e metodologias propostas por Klein *et al.* (1991). Por meio de um sistema de pontuação, o estudo correlacionou patologias com a estabilidade das estruturas, permitindo uma hierarquização das ações necessárias.

Em síntese, as normas técnicas do DNIT e da ABNT são imprescindíveis para a gestão segura das pontes no país. Contudo, a literatura também indica a necessidade de revisões periódicas e da incorporação de experiências práticas, dada a variedade de condições estruturais e ambientais enfrentadas por essas obras.

2.3 Mecanismos de Degradação em Estruturas de Concreto

Embora amplamente utilizadas na construção civil devido à sua resistência e versatilidade, as estruturas de concreto armado estão sujeitas a diversos processos de deterioração ao longo do tempo. Esses mecanismos são influenciados tanto por fatores intrínsecos, relacionados às características do material e à execução da obra, quanto por fatores extrínsecos, como condições ambientais e solicitações de uso (Morais *et al.* 2020). Tais processos levam ao aparecimento de manifestações patológicas que comprometem não apenas o desempenho estrutural, mas também a estética e a funcionalidade das edificações.

Pesquisas recentes demonstram que a corrosão das armaduras se configura como a patologia mais frequente nessas estruturas. Moraes *et al.* (2020) identificaram sua ocorrência em todos os casos estudados em sua pesquisa, seguida por fissuras, encontradas em 73% das estruturas, manchas (60%), eflorescências (47%), flambagem (27%) e carbonatação (20%). Vale ressaltar que esses danos podem ter origem já nas fases de projeto ou execução e, quando não são devidamente controlados, tendem a evoluir para situações que colocam em risco a integridade da estrutura.

Silva *et al.* (2022) classificam as causas da degradação em quatro categorias principais: falhas de projeto, como dimensionamento inadequado ou detalhamento incorreto; qualidade insuficiente dos materiais, incluindo concreto poroso ou cobrimento inadequado; ausência de manutenção preventiva; e exposição a ambientes agressivos, como locais com alta umidade, presença de cloretos ou poluição atmosférica. A interação desses fatores resulta em problemas como trincas, desagregação do concreto e corrosão das armaduras, reduzindo consideravelmente a vida útil da estrutura.

No que diz respeito aos mecanismos específicos de degradação, a corrosão eletroquímica das armaduras merece destaque. Esse processo ocorre quando há a combinação de umidade, oxigênio e íons cloretos, que rompem a camada passiva do aço. Barreto e Parente (2018) descrevem três tipos principais de corrosão: a aerada, que forma óxido vermelho; a anaeróbica, que produz óxido negro em ambientes com baixo teor de oxigênio; e a causada por correntes de fuga, associada a interferências elétricas. Todos esses processos resultam em perda de aderência entre o aço e o

concreto, redução da seção transversal das barras e fissuração do concreto devido à pressão exercida pelos produtos de corrosão.

Além da corrosão, os processos de deterioração química do concreto também são significativos. Reações como a carbonatação, que reduz o pH do concreto, e o ataque por sulfatos, que gera compostos expansivos como a etringita, provocam fissuras e desagregação da matriz cimentícia. A lixiviação, processo de lavagem dos compostos do cimento pela ação da água, também contribui para a perda de resistência e para a camada protetora passiva das armaduras, acelerando os processos corrosivos (Barreto e Parente 2018)

As fissuras e trincas constituem outro importante mecanismo de degradação. Conforme observado por Morais *et al.* (2020), essas descontinuidades facilitam a penetração de agentes agressivos no interior da estrutura, acelerando significativamente os processos corrosivos. Podem ser classificadas como passivas, quando se mantêm estáveis ao longo do tempo, ou ativas, quando apresentam crescimento devido à ação de cargas, retração térmica ou movimentações estruturais.

Nesse contexto, o entendimento aprofundado desses mecanismos de degradação, conforme destacado por Silva *et al.* (2022), torna-se fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficientes de manutenção preditiva. Essa abordagem é particularmente importante em infraestruturas envelhecidas ou submetidas a condições ambientais adversas, onde uma gestão adequada do ciclo de vida das estruturas requer não apenas diagnósticos precisos, mas também intervenções tempestivas e a adoção de tecnologias que minimizem a ação dos agentes degradantes. A implementação dessas medidas pode significar a diferença entre uma estrutura com vida útil prolongada e aquela que requer reparos onerosos ou mesmo substituição prematura.

2.4 Métodos de avaliação de riscos estruturais

Os riscos estruturais dizem respeito à probabilidade de uma estrutura ou seus componentes falharem, comprometendo sua estabilidade, resistência ou funcionalidade. Normalmente, esses riscos resultam de processos de deterioração, erros de projeto ou execução, sobrecargas imprevistas e ausência de manutenção preventiva (Cardoso, 2022).

Ainda, apontado por Cardoso (2022), para avaliar os riscos estruturais é necessário considerar o envelhecimento das estruturas, as transformações nas

características dos veículos ao longo do tempo e a falta de informações confiáveis sobre o projeto original. Essa análise exige metodologias que estabeleçam uma relação entre o estado de conservação da estrutura e sua capacidade resistente.

Cruz, Wiśniewski e Casas (2020) destacam a necessidade de abordar a avaliação da segurança estrutural de pontes em etapas de complexidade crescente, que vão desde análises lineares simples até modelos probabilísticos avançados. Esse método permite considerar as incertezas dos parâmetros estruturais e de carregamento, reduzindo o conservadorismo excessivo e evitando intervenções desnecessárias em pontes que ainda são seguras.

A avaliação estrutural de pontes constitui um procedimento fundamental para assegurar a segurança, funcionalidade e durabilidade dessas infraestruturas. No Brasil, esse processo é regulamentado pela norma ABNT NBR 9452 (2023), que estabelece diretrizes para a vistoria de pontes e viadutos de concreto, bem como pelos manuais técnicos do DNIT, como o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004).

Segundo Cardoso (2022), as metodologias de avaliação têm sido aprimoradas, incorporando não apenas inspeções visuais, mas também ensaios complementares e técnicas de reconstituição de projeto, especialmente nos casos em que os projetos originais não estão disponíveis. O autor propõe dois modelos de análise: um baseado na atribuição de nota técnica e outro que utiliza ensaios para determinar a resistência residual dos materiais.

A inspeção visual, enquanto método inicial de avaliação, é amplamente adotada e recomendada para todas as pontes, especialmente aquelas de médio e pequeno porte. Conforme demonstrado por Santos e Marques (2021), essa técnica possibilita a identificação de patologias estruturais, como fissuras, corrosão das armaduras, trincas e lixiviação, sendo essencial para classificar a condição da estrutura e determinar a necessidade de análises mais aprofundadas.

A utilização de tecnologias avançadas, como veículos aéreos não tripulados (VANTs), também tem ganhado relevância na área. Silva e Santos (2020) empregaram drones para realizar inspeções fotográficas em áreas de difícil acesso, permitindo a detecção de patologias de maneira segura e eficiente. O uso desses equipamentos está alinhado às recomendações da ABNT NBR 9452 (2016) e representa um avanço significativo nos métodos de inspeção de rotina.

Segundo Sousa e Silva Junior (2020), uma avaliação eficaz deve contemplar, além do registro de manifestações patológicas, uma análise contextual da ponte, incluindo o ano de construção, tipo estrutural e condições de uso. Esses fatores contribuem para a aplicação de modelos que estimam a capacidade residual da estrutura e auxiliam na priorização de intervenções.

Cardoso (2022) também destaca o método *Rating Factor* (RF) como uma ferramenta objetiva para quantificar a segurança estrutural das pontes. Esse método correlaciona a nota técnica obtida na inspeção ao fator de redução da capacidade resistente dos elementos estruturais, permitindo avaliar a conformidade da estrutura com as exigências normativas vigentes.

A integração entre inspeção, ensaios e análise estrutural é essencial para a obtenção de diagnósticos precisos. Métodos como esclerometria, ultrassonografia e pacometria fornecem dados quantitativos sobre o estado dos materiais e possibilitam alimentar modelos numéricos mais sofisticados, como aqueles baseados em elementos finitos, conforme demonstrado por Cardoso 2022.

Uma referência na área, bastante citada na literatura é a Metodologia GDE/UnB, desenvolvida originalmente por Castro (1994) e posteriormente aprimorada por Lopes (1998), Fonseca (2007), Euqueres (2011) e Verly (2015), em trabalhos voltados à avaliação de edificações e obras de arte especiais (OAEs). A seguir são apresentados os procedimentos do referido método, utilizado neste trabalho.

2.5 Fundamentação do método GDE/UnB

A Metodologia elaborada pelo Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (GDE/UnB) foi concebida com o objetivo de quantificar o grau de deterioração de estruturas de concreto armado a partir da análise das manifestações patológicas observadas em seus elementos estruturais. O método baseia-se na relação entre intensidade do dano, importância do elemento e relevância estrutural dentro do conjunto, buscando representar matematicamente o estado de conservação da estrutura (Castro, 1994; Verly, 2015).

Para tanto, os elementos da ponte são organizados em famílias estruturais, conforme suas características e funções, que são determinadas por suas propriedades intrínsecas e pelo papel funcional que desempenham no sistema. Essa classificação é diretamente baseada na influência que cada componente exerce sobre

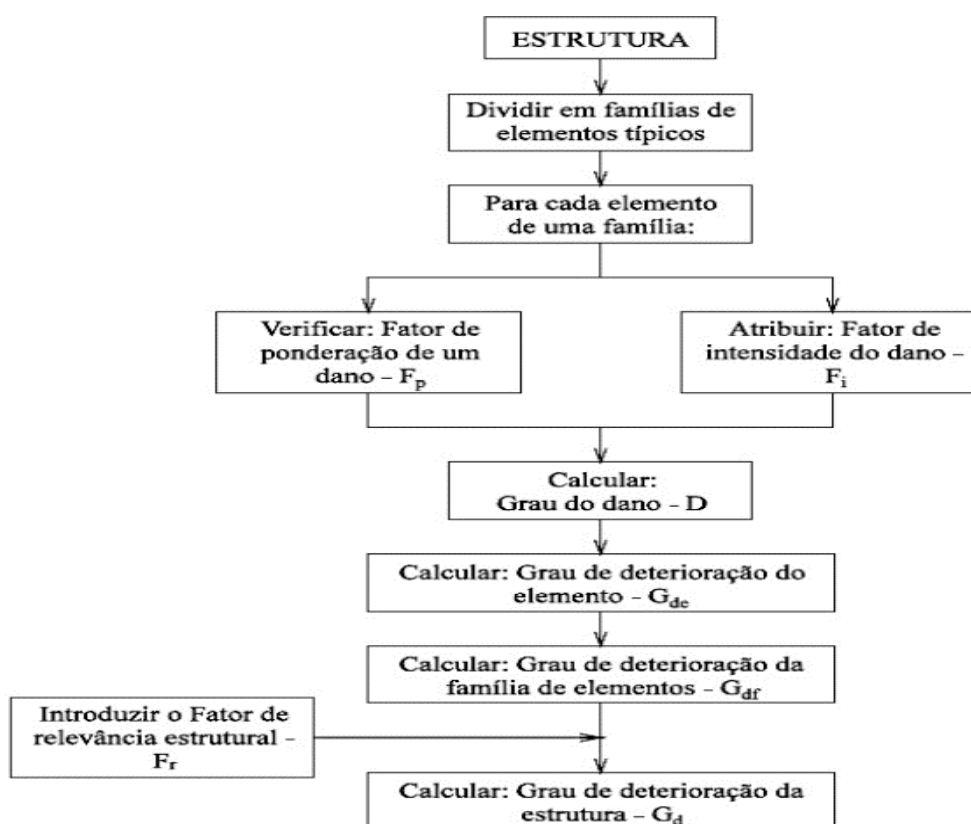
o desempenho global da estrutura. É um princípio metodológico que exige a equivalência de tratamento para todos os membros de um mesmo grupo.

Contudo, essa estrutura de agrupamento não é estática. Ela exige uma reavaliação constante a cada aplicação do método, permitindo-se adaptações e modificações sempre que necessário. Isso ocorre porque o grau de relevância de um elemento pode variar consideravelmente, mesmo que possua a mesma denominação, em sistemas estruturais distintos (Verly, 2015).

Cada família é avaliada individualmente, e os resultados são posteriormente integrados para se obter o grau de deterioração global da estrutura. O método é essencialmente hierárquico e ponderado, assegurando que elementos de maior importância estrutural tenham peso mais significativo no cálculo final.

O cálculo do grau de deterioração (Gd) é dividido em sete etapas principais, conforme o Roteiro de Inspeção da Metodologia GDE/UnB e o fluxograma mostrado na Figura 7 (Castro, 1994; Euqueres, 2011).

Figura 7 - Fluxograma da metodologia GDE



Fonte: Adaptada de Castro (1994)

Cada uma das etapas do método é descrita a seguir.

2.5.1 Fator de ponderação do dano (Fp)

Trata-se de um fator utilizado para mensurar a relevância de um dano específico em relação às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos pertencentes a uma determinada família. Essa quantificação considera as manifestações patológicas que podem ocorrer nesses elementos. Para sua definição, são identificados os problemas mais significativos associados à durabilidade e à segurança estrutural. Dessa forma, cada tipo de manifestação patológica recebe uma classificação em uma escala de 1 a 5, conforme o tipo de elemento afetado. Assim, uma mesma manifestação pode apresentar diferentes fatores de ponderação, variando de acordo com as características da família de elementos e com as possíveis consequências decorrentes do dano.

Para pilares, a metodologia prevê os valores de Fp apresentados no Quadro 1. No Apêndice A são apresentadas as tabelas com os valores de Fp para os demais elementos estruturais.

Quadro 1 - Fator de ponderação do dano para pilares

| Danos | Fp |
|-------------------------------------|-----------|
| Carbonatação do concreto | 3 |
| Cobrimento deficiente | 3 |
| Contaminação por cloretos | 4 |
| Corrosão de armaduras | 5 |
| Desagregação | 3 |
| Desplacamento | 3 |
| Desvio de geometria | 4 |
| Eflorescência | 2 |
| Falha de concretagem | 3 |
| Fissuras | 2 a 5 |
| Manchas | 3 |
| Recalque | 5 |
| Sinais de esmagamento | 5 |
| Umidade excessiva na infraestrutura | 4 |

Fonte: Verly (2015)

Para cada tipo de fissura (recalque, flecha, dentre outras) é apresentado um fator de ponderação. Esses fatores estão apresentados no Apêndice A.

2.5.2 Fator de intensidade do dano (Fi)

O Fi classifica a severidade observada de uma manifestação patológica em um determinado elemento. Varia de 0 a 4, sendo 0 ausência de dano e 4 condições críticas. Essa classificação é feita durante a inspeção, conforme o aspecto visual, extensão e evolução do dano. Os valores de Fi são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Fator de intensidade do dano

| Classificação do dano | Fi |
|--------------------------------|----|
| Elemento sem lesões | 0 |
| Elemento com lesões leves | 1 |
| Elemento com lesões toleráveis | 2 |
| Elemento com lesões graves | 2 |
| Elemento em estado crítico | 4 |

Fonte: Verly (2015)

O Quadro 3 apresenta uma classificação de alguns tipos de danos frequentes em edificações usuais com estrutura de concreto armado, com uma identificação do nível de gravidade das lesões e descrição sucinta das intensidades das manifestações, conforme características específicas, para fins de aplicação desta metodologia.

Quadro 3 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

| Tipos de danos | Valores de Fi |
|---------------------------|--|
| Carbonatação | 1 → localizada, com regiões com pH < 9, sem afetar as armaduras. 2 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco. 3 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido. 4 → generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido. |
| Cobrimento deficiente | 1 → menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura. 2 → menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões. 3 → deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas. |
| Contaminação por cloretos | 2 → elementos abrigados sem umidade 3 → elementos no exterior sem umidade 4 → ambientes úmidos. |

| | |
|-----------------------|---|
| Corrosão de armaduras | <p>2 → manifestações leves, pequenas manchas.</p> <p>3 → grandes manchas e/ou fissuras de corrosão.</p> <p>4 → corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção (> 20% do diâmetro).</p> |
|-----------------------|---|

Fonte: Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (2015)

O Quadro 3 apresenta uma classificação de alguns tipos de danos frequentes em edificações usuais com estrutura de concreto armado, com uma identificação do nível de gravidade das lesões e descrição sucinta das intensidades das manifestações, conforme características específicas, para fins de aplicação desta metodologia.

No Apêndice A são apresentados os quadros com os valores de F_i para os demais tipos de danos.

2.5.3 Grau do dano (D)

O grau de cada dano no elemento estrutural é calculado em função do fator de ponderação (F_p) e respectivo fator de intensidade (F_i), por meio das Equações 1 e 2.

$$\text{Para } F_i \leq 2,0: D = 0,8.F_i.F_p \quad (1)$$

$$\text{Para } F_i > 2,0: D = (12.F_i - 28).F_p \quad (2)$$

Cada dano identificado em um elemento tem seu valor de D calculado individualmente.

2.5.4 Grau de deterioração do elemento (Gde)

O Gde representa a condição de um elemento estrutural específico, como por exemplo pilar ou viga, considerando o conjunto de danos observados. É calculado pela média ponderada dos graus de dano (D), conforme Equação 3.

$$Gde = D_{m\acute{a}x} \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_i) - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^{mn} D_i} \right] \quad (3)$$

onde:

n = número de manifestações observadas no elemento.

Após o cálculo, os elementos são classificados de acordo com o valor obtido, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento e ações recomendadas

| Nível de deterioração | Gde | Ações recomendadas |
|-----------------------|----------|---|
| Baixo | 0 - 15 | Estado aceitável. Manutenção preventiva. |
| Médio | 15 - 50 | Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos). |
| Alto | 50 – 80 | Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano). |
| Sofrível | 80 – 100 | Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses). |
| Crítico | > 100 | Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramentos, etc.). Planejar intervenção imediata. |

Fonte: Adaptado de Verly (2015) e Euqeres (2011)

2.5.5 Grau de deterioração de uma família de elementos (Gdf)

Nessa etapa, os elementos são classificados em famílias, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 - Famílias de elementos

| Família |
|---|
| Barreiras, guarda-corpo, guarda-rodas, pista de rolamento |
| Juntas de dilatação |
| Transversinas, cortinas, alas |
| Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio |
| Vigas e pilares principais |

Fonte: Adaptado de Verly (2015) e Euqeres (2011)

A partir dessa classificação é possível utilizar calcular o Gdf das famílias estruturais da ponte analisada, por meio da Equação 4.

$$Gdf = Gde_{m\acute{a}x} \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^m Gde_i) - Gde_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m Gde_i} \right] \quad (4)$$

Com isso é possível verificar como está a deterioração da família desses elementos.

2.5.6 Fator de Relevância Estrutural (Fr)

O fator de relevância estrutural (Fr) da família de elementos, tem por objetivo considerar a importância relativa das famílias de elementos no seu comportamento e desempenho da estrutura como um todo. O Quadro 6 apresenta os valores de referência para Fr de acordo com cada família do elemento.

Quadro 6 - Fatores de relevância estrutural das famílias de elementos (Fr)

| Família | Fr |
|---|----|
| Barreiras, guarda-corpo, guarda-rodas, pista de rolamento | 1 |
| Juntas de dilatação | 2 |
| Transversinas, cortinas, alas | 3 |
| Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio | 4 |
| Vigas e pilares principais | 5 |

Fonte: Castro (1994)

2.5.7 Grau de Deterioração da Estrutura (Gd)

O Gd representa o índice global de deterioração da estrutura, considerando todas as famílias e seus respectivos pesos de relevância. É calculado por meio da Equação 5.

$$Gd = \frac{\sum_{i=1}^m Fr_i \times Gdf_i}{\sum_{i=1}^m Fr_i} \quad (5)$$

O valor final de Gd obtido varia entre 0 e valores maiores que 100, que reflete a condição geral da ponte, com relação ao seu nível de deterioração da ponte, conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 - Classificação do nível de deterioração global da estrutura (Gd)

| Nível de deterioração | Gd | Ações recomendadas |
|-----------------------|----------|---|
| Baixo | 0 - 15 | Estado aceitável. Manutenção preventiva. |
| Médio | 15 - 50 | Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos). |
| Alto | 50 - 80 | Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano). |
| Sofrível | 80 - 100 | Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses). |
| Crítico | > 100 | Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramentos, etc.). Planejar intervenção imediata. |

Fonte: Verly (2015)

Com o valor final obtido para o Gd, torna-se possível estabelecer a classificação global da estrutura, resultando na determinação de um grau nominal de deterioração. A partir dessa classificação, são definidas as ações recomendadas em função do nível de degradação identificado, permitindo avaliar se a estrutura

apresenta risco iminente e se há necessidade de intervenções corretivas imediatas ou apenas de monitoramento contínuo.

2.6 Ferramentas e Tecnologias Utilizadas na Inspeção Estrutural

A análise estrutural de pontes de concreto armado demanda o uso de técnicas cada vez mais precisas e seguras. Embora a inspeção visual, acompanhada de registros manuais e fotografias, ainda seja amplamente empregada, essa metodologia apresenta limitações tanto em relação à precisão dos dados quanto à segurança dos profissionais envolvidos.

Diante desses desafios, novas tecnologias têm sido adotadas para otimizar e tornar mais confiável o processo de avaliação. Entre elas, destaca-se o Laser Scanner Terrestre (LST), capaz de gerar modelos tridimensionais detalhados por meio de nuvens de pontos. Essa solução é particularmente vantajosa em áreas de acesso restrito, uma vez que elimina a necessidade de contato físico com a estrutura. Estudos indicam que o LST permite identificar deformações, fissuras, umidade, eflorescências e biodeterioração, servindo como um complemento eficiente às abordagens convencionais (Pavi, Bordin e Veronez, s.d.).

Outra ferramenta relevante é a modelagem computacional baseada no Método dos Elementos Finitos (MEF), utilizada para simular o comportamento de pontes sob diferentes condições. Em uma pesquisa conduzida por Correia e Mendes (2021), o software SAP2000 foi empregado para comparar a espessura de lajes em balanço, revelando que pequenas alterações geométricas influenciam diretamente os momentos fletores e o surgimento de fissuras.

Além disso, análises dinâmicas têm ganhado espaço, principalmente no estudo de estruturas submetidas a cargas variáveis, como tráfego intenso e irregularidades no pavimento. Rimola *et al.* (2016) desenvolveram um método para avaliar a resposta dinâmica e a resistência à fadiga em pontes mistas (aço-concreto) utilizando o ANSYS. O modelo considerou a interação entre materiais e os efeitos do tráfego real, melhorando a estimativa da vida útil da estrutura.

Cruz *et al.* (s.d.) propuseram um sistema de avaliação em cinco níveis, que vão desde análises simplificadas até métodos não lineares e probabilísticos. Essa estratégia progressiva ajuda a reduzir custos, evitando intervenções desnecessárias sem comprometer a segurança, adaptando-se ao conhecimento disponível sobre a ponte.

Por fim, conforme destacado por Müller (2004), é essencial combinar técnicas modernas de diagnóstico com práticas consagradas, como inspeções visuais minuciosas, sondagens e avaliação de patologias. O autor também estabelece critérios para selecionar métodos de reforço, considerando a gravidade dos danos, a idade da estrutura, o tipo de construção e os materiais utilizados.

2.7 Casos de estudo ou referências semelhantes

Estudos de casos sobre avaliação de pontes rodoviárias de concreto armado vêm sendo realizados em diversas regiões do Brasil, com foco na identificação de manifestações patológicas, análises das causas de deterioração e propostas de métodos de inspeção mais eficazes.

Sousa e Silva Junior (2020) realizaram uma análise detalhada das manifestações patológicas na ponte sobre o Rio Taquari, localizada em Araguatins/TO. O trabalho utilizou inspeções visuais para identificar fissuras, corrosão das armaduras e danos nos elementos de segurança. Os autores ressaltaram a importância de inspeções rotineiras para garantir a vida útil da estrutura e prevenir falhas mais graves.

Estudo semelhante foi conduzido por Silva e Santos (2021) na ponte sobre o Rio Tocantins em Porto Nacional/TO. A pesquisa aplicou a norma ABNT NBR 9452 (2016) e o Manual do DNIT (2004), utilizando veículos aéreos não tripulados (VANTs) para registros fotográficos. A inspeção revelou estado crítico da estrutura, sendo recomendada intervenção imediata.

Na cidade de Palmas-TO, Rezende (2019) avaliou quatro pontes de concreto armado utilizando o método GDE/UnB para quantificar o grau de deterioração estrutural. O estudo evidenciou um elevado grau de comprometimento, com destaque para corrosão das armaduras e fissuração generalizada, reforçando a necessidade de manutenção preventiva e corretiva programada.

Santos e Gomes (2021) também analisaram a ponte Joaquim Aires, em Porto Nacional/TO, com base em inspeções visuais. A estrutura foi classificada em estado regular, sendo atribuída nota 3 conforme a NBR 9452 (2019), o que demanda uma inspeção especial para avaliação mais aprofundada.

Na mesma cidade, a ponte do setor Umuarama também foi inspecionada por Santos e Silva (2021). O estudo apontou uma condição estrutural ruim, com nota 2 na

avaliação, e sugeriu a necessidade de medidas corretivas urgentes para evitar riscos à segurança dos usuários.

Já a ponte do setor Jardim Querido foi avaliada por Santos e Marques (2021), revelando presença de patologias como trincas, corrosão e lixiviação. A estrutura recebeu nota 3 na classificação da NBR 9452, o que caracteriza a necessidade de uma inspeção especial para obtenção de dados mais precisos.

No estudo realizado por Silva *et al.* (2018) foram analisados 332 pontes e viadutos nas rodovias federais de Pernambuco. Utilizando as normas DNIT 010/2004 e NBR 9452/2016, os autores constataram que muitas das estruturas apresentavam deficiências semelhantes às pontes avaliadas em estudos locais, o que demonstra um padrão nacional de degradação devido à falta de manutenção sistemática.

Esses casos demonstram que a falta de políticas de inspeção contínua e manutenção preventiva contribui significativamente para o agravamento das patologias estruturais, podendo comprometer a segurança dos usuários e gerar altos custos com reparos emergenciais. A literatura aponta, ainda, a necessidade de integrar métodos qualitativos e quantitativos de avaliação, bem como tecnologias de monitoramento remoto.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi conduzida inicialmente por meio do levantamento de informações contidas em laudos de inspeções de pontes rodoviárias de concreto armado localizadas na região Oeste do Paraná, com o objetivo de adaptar um instrumento destinado à avaliação dessas estruturas. Em seguida, foi realizada a inspeção de uma ponte específica, visando à determinação de seu grau de risco estrutural.

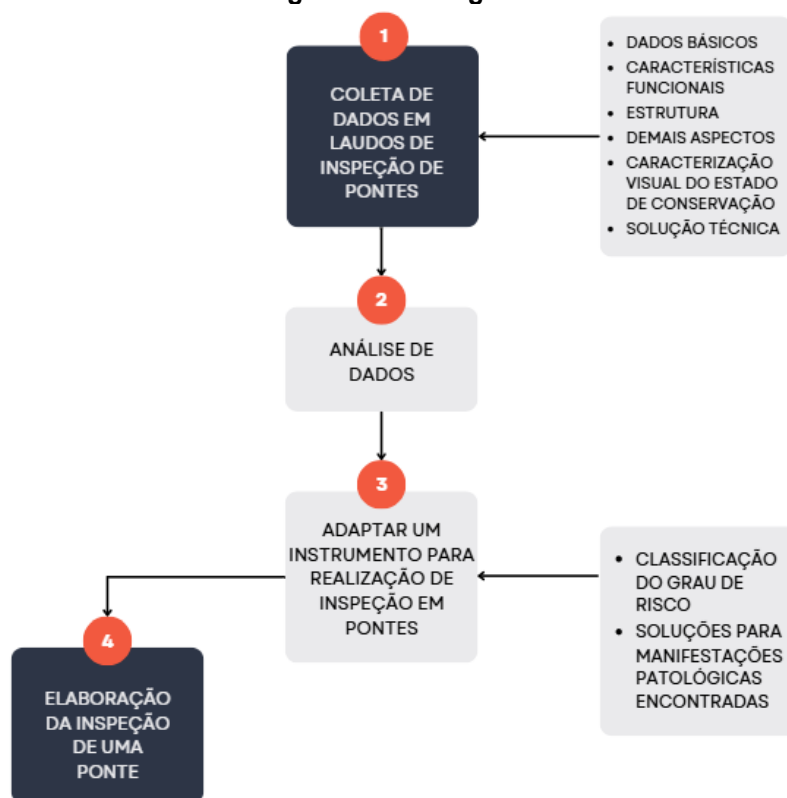
3.1 Descrição da pesquisa

Este Trabalho de Conclusão de Curso enquadra-se como uma pesquisa aplicada, uma vez que visa à resolução de um problema concreto: a avaliação estrutural de pontes rodoviárias na região oeste do Paraná, com o intuito de propor melhorias práticas e estratégicas para sua manutenção e segurança.

Quanto à abordagem metodológica, adotam-se métodos qualitativos e quantitativos, pois a análise contempla tanto aspectos técnicos e numéricos dos laudos de inspeção quanto avaliações subjetivas relacionadas à gravidade das patologias identificadas. No que diz respeito aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva, já que busca aprofundar o conhecimento sobre as manifestações patológicas nas estruturas estudadas e sistematizar as informações em uma classificação de risco.

Quanto aos procedimentos técnicos, configura-se como um estudo de caso múltiplo, dedicando-se à análise detalhada de 17 pontes rodoviárias de concreto localizadas em diferentes municípios do oeste paranaense, com base em dados coletados em inspeções técnicas prévias. Conforme Fontelles *et al.* (2009), esse delineamento é adequado quando se pretende compreender em profundidade uma realidade específica a partir da observação detalhada de um número limitado de unidades (neste caso, as pontes), permitindo a identificação de padrões e a construção de inferências contextualizadas sobre o objeto de estudo. A Figura 8 apresenta um fluxograma com as etapas da pesquisa.

Figura 8 – Fluxograma



Fonte: Autoria própria (2025)

3.2 Coleta de dados

Inicialmente, foi feito a coleta dos dados por meio da análise de 17 laudos de inspeção técnica, já previamente elaborados a partir de vistorias presenciais nas pontes da região oeste do Paraná, fornecidos por uma empresa de Engenharia Diagnóstica, chamada neste trabalho de Empresa A. Esses laudos contêm informações detalhadas sobre o estado de conservação das estruturas, apontando as manifestações patológicas encontradas, suas localizações, causas prováveis e implicações estruturais. Um breve resumo das pontes está apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 - Panorama dos dados básicos das pontes

| Nome da ponte | Cidade próxima | Tipo de estrutura | Sistema construtivo |
|-----------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Ponte Guarapuava | Guarapuava | Viga de Concreto Protendido | Pré-Moldado de Concreto Armado |
| Ponte sobre o Rio Coutinho | Guarapuava | Viga de Concreto Protendido | Moldado no Local |
| Ponte sobre Rio Campo Real | Candói | Viga de Concreto Armado | Moldado no Local |
| Ponte sobre o Rio Pai João | Candói | Viga de Concreto Protendido | Pré-Moldado de Concreto Armado |
| Ponte sobre o Rio Cavernoso | Cantagalo | Arco superior concreto armado | Moldado no local |

| | | | |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------|---|
| Ponte sobre o Rio Cantagalo | Guarapuava | Viga de Concreto Armado | Moldado no Local |
| Ponte sobre o Rio Taperinha | Virmond | Viga de Concreto Armado | Moldado no Local |
| Ponte sobre o Rio Tapera | Virmond | Viga de Concreto Protendido | Pré-Moldada de Concreto Protendido (Pós-Tensão) |
| Ponte sobre o Rio Laranjeiras | Laranjeiras do Sul | Viga de Concreto Armado | Moldado no Local |
| Ponte sobre o Rio Xagu | Guarapuava | Viga de Concreto Armado | Moldado no Local |
| Ponte sobre o Rio das Cobras | Laranjeiras do Sul | Viga de Concreto Armado | Moldado no Local |
| Ponte sobre o Rio Pereira | Guarapuava | Laje de Concreto Armado | Moldado no Local |
| Ponte sobre o Rio Guarani | Diamante do Sul | Laje de Concreto Armado | Moldado no Local |
| Ponte sobre o Rio Ocoy | Medianeira | Viga de Concreto Armado | Pré-Moldada de Concreto Protendido (Pós-Tensão) |
| Ponte sobre o Rio da Biodiversidade | São Miguel do Iguçu | Viga de Concreto Armado | Pré-Moldada de Concreto Protendido (Pós-Tensão) |
| Ponte sobre o Rio do Salto | Cascavel | Viga de Concreto Armado | Moldado no Local |
| Ponte sobre o Rio Oeste | Cascavel | Viga de Concreto Armado | Moldado no Local |

Fonte: Autoria própria (2025)

Assim, a partir da análise desses laudos, foi possível identificar os principais tipos de manifestações patológicas observadas na região, bem como reconhecer os elementos estruturais mais recorrentes, fornecendo subsídios para a adaptação do instrumento de inspeção de pontes.

3.3 Informações coletadas

As principais informações coletadas a partir dos laudos técnicos e das vistorias realizadas nas estruturas em estudo, foram organizadas conforme os critérios técnicos e normativos de inspeção de obras de arte especiais.

- a) Dados gerais: nome da estrutura e rodovia em que está situada, cidade mais próxima, coordenadas geográficas, incluindo latitude e longitude, data em que as vistorias foram realizadas, tipo de inspeção efetuada e o órgão ou entidade responsável pela administração da estrutura;
- b) Características estruturais: tipo de estrutura, sistema construtivo, comprimento e largura totais, número de vãos, comprimento do maior vão, altura das vigas nos apoios e a altura máxima dos pilares;
- c) Informações funcionais: localização da estrutura dentro de uma região específica, tipo de greide em que está inserida, natureza da travessia

(como rios, rodovias ou ferrovias), tipo de traçado da via (retilíneo ou curvo), dimensões da pista, como sua largura e o número de faixas disponíveis. Outros elementos observados incluem a presença e largura de acostamentos, tipo de pavimento, existência de guarda-rodas e dispositivos de drenagem como pingadeiras. Também foram verificados os gabaritos vertical e horizontal da estrutura, a presença e o estado das juntas de dilatação, bem como o tipo e intensidade do tráfego que circula sobre as pontes;

- d) Componentes estruturais: foram identificados e descritos os pilares e apoios, lajes e vigas de acordo com seus materiais e funções. As inspeções também abordam aspectos ambientais e geotécnicos do local, como o tipo de entorno (urbano, rural, florestal, entre outros), as condições de drenagem no caixão da ponte, a existência de fundação em solo mole e o regime hidrológico do corpo hídrico atravessado, quando aplicável. Além disso, foi verificada a natureza do leito (erodível ou estável) e registrado o histórico de manutenções anteriormente realizadas nas estruturas;
- e) Classificação das estruturas: análise da nota técnica, considerando os critérios de estabilidade, conservação e segurança. Também foram observados aspectos como a ocorrência de vibração excessiva e a eventual necessidade de uma inspeção especializada. Na análise da infraestrutura, foram identificadas anomalias diversas que podem existir, como exemplo: fissuras no pavimento, drenagem inadequada, degradação nos arredores, acúmulo de resíduos e degradação dos aparelhos de apoio;
- f) Recomendações técnicas: análise das ações corretivas até sugestões para futuras inspeções e manutenções preventivas.

Para complementar as análises, foram observados os esquemas gráficos disponibilizados em anexo da estrutura, incluindo vistas longitudinais, seções transversais e detalhes técnicos adicionais que contribuam para a compreensão visual das obras e suas particularidades construtivas.

As informações coletadas foram utilizadas para:

- a) Síntese dos resultados das inspeções das pontes: foi apresentada uma classificação geral das pontes, com o objetivo de verificar se a presença de anomalias é semelhante. Isso é importante, pois as inspeções foram

realizadas de maneira isolada. Desta forma, a análise de todos os dados pode demonstrar características específicas da região analisada;

- b) Adaptação do instrumento específico para inspeção das pontes da região oeste do Paraná, como descrito a seguir.

3.4 Instrumento para inspeção de pontes

Com o objetivo de realizar a inspeção de uma ponte, foi organizado um instrumento de avaliação técnica. Esse instrumento foi desenvolvido a partir das diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 9452:2023, que fala sobre a inspeção de pontes, viadutos e passarelas, juntamente com procedimento complementado pelas orientações do DNIT 010/2004–PRO. E para quantificar e classificar o grau de risco final foi utilizado a metodologia GDE/UnB.

O objetivo principal foi sistematizar as informações coletadas em campo e permitir a classificação objetiva das condições estruturais, funcionais e de durabilidade das pontes analisadas.

O instrumento é composto por quatro partes:

- a) Ficha cadastral: contempla a entrada dos dados cadastrais da ponte, com base nas prescrições da ABNT NBR 9452 (inspeção de pontes, viadutos e passarelas).
- b) Cálculo do grau do dano (d): esta etapa se refere ao preenchimento de informações sobre cada elemento estrutural, com relação ao seu fator de ponderação do dano (F_p), o fator de intensidade do dano (F_i), que permitem calcular o grau do dano.
- c) Cálculo do grau de deterioração de cada elemento (Gde): nesta parte do instrumento é calculado o Gde, e em função do mesmo obtém-se o nível de deterioração de cada elemento e recomendações de ações.
- d) Cálculo do grau de deterioração de estrutura (Gd): nesta etapa é calculado o grau de deterioração de cada família de elementos (Gdf) e em seguida o grau de deterioração de estrutura (Gd). A partir disso é calculado o nível de deterioração da estrutura e recomendações de ações.

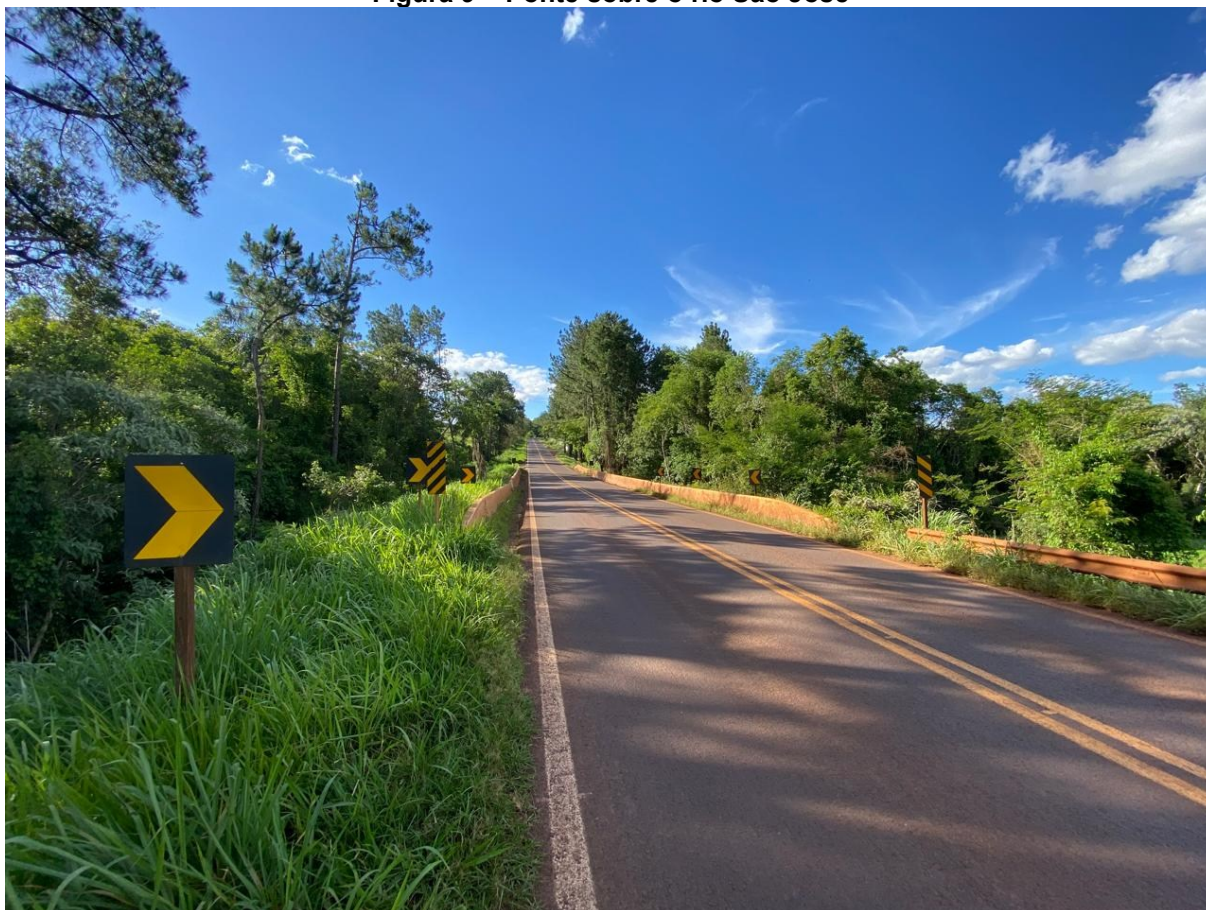
O Apêndice A apresenta o instrumento, com instruções para preenchimento de cada parte.

3.5 Avaliação do grau de risco estrutural de uma ponte

Foi realizada a inspeção da ponte sobre o Rio São José (Figura 9), localizada na rodovia PR-180, no km 330+840, no município de Cascavel – PR.

A escolha dessa ponte justifica-se por apresentar características estruturais recorrentes semelhantes às das demais pontes do grupo analisado, como o tipo construtivo em vigas de concreto armado moldado no local e extensão moderada, o que a torna representativa do perfil geral das estruturas analisadas. Essa seleção possibilitou verificar a aplicabilidade prática e a eficiência do instrumento desenvolvido.

Figura 9 – Ponte sobre o rio São José



Fonte: A autoria própria (2025)

A aplicação foi realizada com base nos critérios e pesos previamente definidos no instrumento apresentado no item anterior.

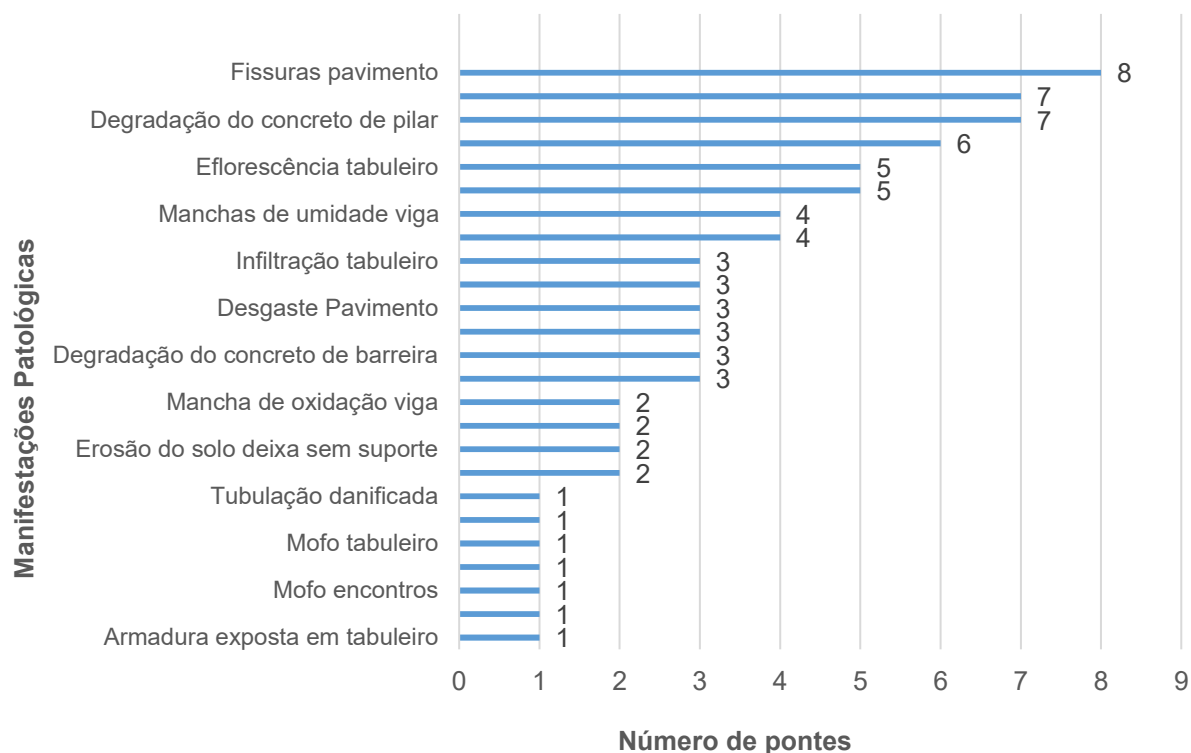
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem como finalidade apresentar e analisar os resultados obtidos na pesquisa, após a conclusão das etapas metodológicas. O conteúdo está organizado em quatro seções principais: inicialmente, são descritos os resultados provenientes da compilação dos dados dos laudos técnicos; em seguida, são apresentadas as partes constituintes do instrumento de inspeção de pontes; posteriormente, é detalhada a inspeção da ponte selecionada e, por fim, a determinação de seu grau de risco estrutural.

4.1 Análise dos dados das inspeções das pontes

A presente análise fundamenta-se na consolidação e avaliação dos dezessete Laudos Técnicos de Inspeção de Obras de Arte Especiais (OAE), com ênfase em pontes rodoviárias. Essa etapa da pesquisa possui como propósito central a identificação, categorização e hierarquização das manifestações patológicas mais recorrentes observadas nessas estruturas, buscando compreender em profundidade os mecanismos de degradação envolvidos, bem como as medidas corretivas mais frequentemente prescritas pelos profissionais responsáveis pelas inspeções. Tal abordagem é essencial para guiar o planejamento sistemático das ações de manutenção e reabilitação, além de contribuir para a formulação de estratégias de gestão que assegurem a durabilidade, o desempenho estrutural e a segurança operacional das OAEs ao longo de sua vida útil.

A Figura 10 apresenta as manifestações patológicas constatadas nos laudos das 17 pontes analisadas.

Figura 10 - Manifestações patológicas

Fonte: Autoria própria (2025)

As manifestações patológicas mais frequentes nas pontes analisadas foram fissuras no pavimento, presentes em 47,06% das pontes analisadas, seguida pelas fissuras em vigas, e degradação do concreto dos pilares, ambas com 41,18%. A Figura 11 apresenta um exemplo de cada uma dessas anomalias, retiradas dos laudos analisados.

Figura 11 – Exemplos de manifestações patológicas encontradas

Fissura no pavimento



Fissura em viga



Degradação do concreto de pilares

Fonte: Empresa A (2021)

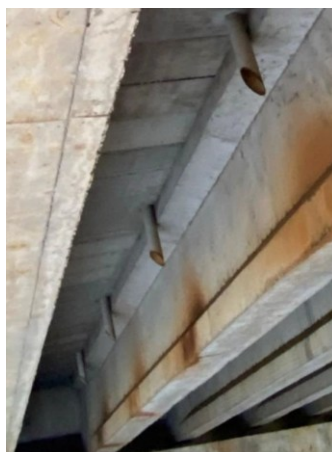
Esses resultados indicam que as fissuras e a degradação do concreto são os principais problemas estruturais encontrados, representando riscos à durabilidade e à capacidade resistente das pontes. A alta incidência desses danos pode estar relacionada à fadiga dos materiais, ações ambientais (temperatura, umidade) e ausência de manutenção preventiva.

Em 35,29% das pontes as tubulações de drenagem estavam obstruídas. Com relação a presença de umidade, foram constatadas manchas de umidade nas vigas em 23,53% das pontes, nas lajes em 17,65% das pontes e nos pilares em 5,88% das pontes. Em função disso, em 23,53% das pontes foram constatadas manchas de oxidação em vigas e lajes. A Figura 12 apresenta exemplos dessas anomalias encontradas nas pontes.

Figura 12– Exemplos de manifestações patológicas encontradas



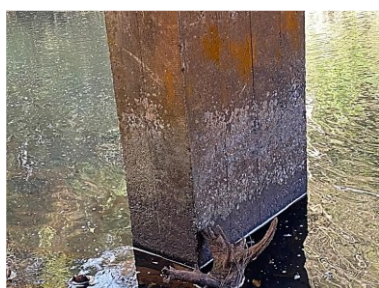
Tubulação obstruída



Mancha de umidade em viga



Mancha de umidade em laje



Mancha de umidade em pilar



Mancha de oxidação

Fonte: Empresa A (2021)

A eflorescência foi uma manifestação patológica presente nas lajes dos tabuleiros, em 29,41% das pontes. Essas manifestações estão fortemente associadas

a problemas de drenagem e infiltrações, que aceleram os processos de deterioração, principalmente por corrosão das armaduras e lavagem de partículas do concreto. A Figura 13 apresenta um exemplo dessa manifestação patológica.

Figura 13 - Exemplos de eflorescência



Fonte: Empresa A (2021)

A umidade e os problemas de drenagem são as causas principais da deterioração, que resultaram nas manifestações como eflorescência, manchas, oxidação e corrosão das pontes analisadas. As fissuras são o tipo de patologia mais recorrente e preocupante, pois podem evoluir para perda de capacidade estrutural.

A armadura exposta esteve presente em pilares, vigas e lajes, com 23,53%, 17,65% e 5,88% das pontes respectivamente. A Figura 14 apresenta um exemplo dessa anomalia em uma das pontes.

Figura 14 - Exemplos de armadura exposta



Fonte: Autoria própria (2025)

Com base nas manifestações patológicas identificadas, foram constatadas as seguintes intervenções corretivas e preventivas:

- a) Execução de juntas de movimentação na transição entre a pista de acesso e o tabuleiro, visando absorver deformações e minimizar o surgimento de fissuras devido a variações térmicas e diferenciais de recalque;
- b) Limpeza e desobstrução dos sistemas de drenagem, garantindo o escoamento adequado das águas pluviais e prevenindo acúmulo de umidade nas estruturas;
- c) Selagem das regiões de infiltração utilizando argamassa polimérica, a fim de impedir a penetração de água e agentes agressivos no interior do concreto;
- d) Tratamento das fissuras por meio de injeção de resina epóxi, restabelecendo a integridade estrutural e evitando a progressão de danos;
- e) Substituição parcial das tubulações danificadas, restabelecendo a funcionalidade do sistema de drenagem e prevenindo novas obstruções;
- f) Tratamento anticorrosivo das armaduras expostas, seguido da recomposição do revestimento com grout de reparo estrutural, garantindo a proteção contra corrosão e a durabilidade do concreto;
- g) Recuperação das áreas degradadas ou deterioradas em função de infiltrações, com remoção do material comprometido e aplicação de produtos de reparo compatíveis;
- h) Reparo do pavimento asfáltico, restabelecendo a regularidade da superfície de rolamento e a estanqueidade da camada superior;
- i) Implantação de pingadeiras em elementos horizontais expostos, prevenindo o escoamento superficial de água sobre o concreto e reduzindo manchas e eflorescências;
- j) Selagem das regiões com segregação de concreto, utilizando argamassa polimérica para restaurar a continuidade e a proteção superficial.

Diante das manifestações patológicas identificadas e das medidas corretivas propostas nos laudos, pode-se concluir que a adoção das intervenções recomendadas é essencial para restabelecer as condições de desempenho, segurança e durabilidade da estrutura. As ações abrangem tanto reparos pontuais — como o tratamento de fissuras, recomposição do concreto e substituição de tubulações — quanto medidas preventivas, a exemplo da implantação de pingadeiras e da execução de juntas de movimentação.

Com base nessas informações, bem como análise da literatura sobre inspeção de pontes, a seguir é apresentado a inspeção da ponte selecionada neste trabalho.

4.2 Realização da inspeção de uma ponte

A ponte objeto da inspeção é constituída por duas vigas de concreto armado moldadas in loco, apresentando 30,00 metros de comprimento e 8,94 metros de largura, configurando-se em um único vão. O tabuleiro é sustentado por quatro pilares de seção circular, dispostos de forma a garantir a estabilidade e a distribuição adequada dos esforços estruturais.

O tráfego predominante na estrutura é rodoviário, caracterizado por fluxo misto de veículos leves e pesados, com ocorrência eventual de cargas excepcionais.

A inspeção foi conduzida por meio de vistoria técnica in loco, contemplando o preenchimento do instrumento cadastral com base nas observações diretas realizadas na estrutura. O Quadro 9 apresenta a ficha cadastral correspondente à ponte inspecionada.

Quadro 9 - Ficha cadastral ponte sobre o Rio São José

| FICHA CADASTRAL | |
|---|--|
| Inspeção (ano): 2025 | Código da OAE: - |
| Jurisdicção (DNIT, Concessão ou outros): Concessão | Data da inspeção: 09/11/2025 |
| PARTE I – Informações gerais | |
| A – Identificação e localização | |
| Rodovia, ferrovia ou município: PR-180 | Sentido: L/O |
| Obra (nome): Ponte sobre o Rio São José | Localização (quilômetro ou endereço): km 330+840 |
| B – Histórico das inspeções | |
| Cadastral: 20/07/2021 | Última rotineira: 20/07/2021 |
| Especial: Não realizada | |
| C – Descrição das intervenções executadas ou em andamento | |
| Reparos: Não realizada | |
| Alargamento: Não realizada | |
| Reforços: Não realizada | |
| Outros: Não realizada | |
| PARTE II – Registro de manifestações patológicas | |
| A – Elementos estruturais | |
| Superestrutura: Os tubos de drenagem não transpassam o fundo da laje, provocando escorrimento e infiltração ao redor da tubulação, conduzindo a degradação da região. Essa anomalia é recorrente em toda extensão da ponte. | |
| Mesoestrutura: Encontra-se em bom estado de conservação, apresentando desgaste natural sem anomalias significativas que comprometam a funcionalidade ou a segurança. | |

| |
|--|
| Infraestrutura: Não foi possível avaliar visualmente a infraestrutura (fundação), sendo que, os elementos da infraestrutura encontram-se enterrados. No entanto, não apresenta sintomas aparentes de patologias de fundações, como recalque. |
| Aparelhos de apoio: Aparentemente não há aparelho, tendo apenas uma camada de EPS junto ao apoio. |
| Juntas de dilatação: Não possui. |
| Encontros: Estáveis apresentando desgaste natural, sem anomalias significativas. |
| Taludes: Encontra-se em bom estado de conservação, apresentando desgaste natural sem anomalias significativas que comprometam a funcionalidade ou a segurança. |
| Outros elementos: |
| B – Elementos da pista ou funcionais |
| Pavimento e/ou via permanente ferroviária: Apresenta algumas fissuras no pavimento. |
| Acostamento, gabarito por via permanente, refúgio: - |
| Drenagem: Tubos sem obstrução. |
| Guarda-corpos: - |
| Barreiras de concreto/Defensas metálicas: Encontra-se em estado médio de conservação, apresentando desgaste natural, algumas fissuras, deslocamentos e deslocamentos, mas nada que comprometa a funcionalidade ou segurança. |
| Contratrilhos, dormentes, fixações e lastro: - |
| Iluminação: - |
| Sinalização: Encontra-se em bom estado. |
| Gabaritos: Encontra-se em bom estado. |
| C – Outros elementos |
| Acessos e entornos (Barreiras rígidas/defensas metálicas): Existe acesso a parte inferior da ponte pelas laterais. |
| Vias de acesso (iluminação e sinalização): Sinalização encontra-se em bom estado |
| Proteção de pilares: - |
| Elementos não caracterizados acima: - |
| D – Informações complementares |
| |

Fonte: Autoria própria (2025)

Durante a inspeção, foram observadas algumas manifestações patológicas. Conforme ilustrado nas Figuras 15, 16 e 17, as barreiras apresentam falhas de concretagem, fissuras decorrentes e leve deslocamento do concreto em algumas áreas.

Figura 15 - Falha de concretagem e fissuras nas barreiras rígidas



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 16 - Fissura e deslocamento nas barreiras rígidas



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 17 - Deslocamento do concreto das barreiras rígidas



Fonte: Autoria própria (2025)

Em seguida, conforme evidenciado na Figura 18, observam-se fissuras e desgaste presentes no pavimento da ponte.

Figura 18 - Fissura no pavimento



Fonte: Autoria própria (2025)

Com relação às estruturas principais, a Figura 19 apresenta a presença de manchas na laje que se estendem até as vigas longarinas. Essas manchas são

causadas pelos tubos de drenagem que não ultrapassam o fundo da laje, resultando em escorrimento e infiltração ao redor da tubulação, o que contribui para a degradação dessa região. Ressalta-se que essa anomalia ocorre ao longo de toda a extensão da ponte.

Figura 19 - Manchas de infiltração na laje



Fonte: Autoria própria (2025)

Por fim, as Figuras 20, 21, 22 e 23 apresentam o estado de conservação dos demais elementos da estrutura, os quais exibem apenas desgaste natural decorrente do uso e das condições ambientais do local.

Figura 20 - Tubos de drenagem em bom estado



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 21 - Pilar em bom estado de conservação



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 22 - Talude em bom estado de conservação



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 23 - Imagem geral da estrutura da ponte



Fonte: Autoria própria (2025)

A seguir são apresentados os resultados da avaliação das condições estruturais, com base nas anomalias identificadas durante a inspeção. A identificação das manifestações patológicas foi efetuada classificando-as segundo o tipo, localização e severidade para o cálculo dos fatores de ponderação e intensidade para cada dano. Em seguida foi determinado grau de dano (D) de cada elemento estrutural. O Quadro 10 apresenta os resultados dos danos para os pilares da estrutura.

Quadro 10 - Valores de Fp, Fi e D para os 4 pilares

| PILARES | | | | |
|----------------------|------------------|----|-----|---------------------|
| Nome do Elemento | Pilar 1, 2, 3, 4 | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Desagregação | 3 | 2 | 4,8 | |
| Falha de concretagem | 3 | 1 | 2,4 | |

Fonte: Adaptado de Verly (2015)

A partir da análise do Quadro 10, foi possível perceber que para os pilares foram constadas apenas as anomalias desagregação e falhas de concretagem.

Já para as vigas, obteve-se os danos apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 - Valores de Fp, Fi e D para as 2 vigas

| VIGAS E TRANSVERSINAS | | | | |
|-----------------------|-----------|----|-----|---------------------|
| Nome do Elemento | Viga 1, 2 | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Flechas | 5 | 2 | 8 | |
| Infiltração de água | 3 | 2 | 4,8 | |
| Manchas | 3 | 2 | 4,8 | |

Fonte: Adaptado de Verly (2015)

Para as vigas, os danos estiveram associados a flecha, infiltração de água, que resultou no surgimento de manchas. Problemas relacionados a infiltração e manchas também foram constatadas nas lajes, cujos danos estão apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 - Valores de Fp, Fi e D para a laje

| LAJES | | | | |
|---------------------|--------------------|----|-----|---------------------|
| Nome do Elemento | Laje 1 - principal | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Infiltração de água | 3 | 2 | 4,8 | |
| Manchas | 3 | 2 | 4,8 | |

Fonte: Adaptado de Verly (2015)

Já as barreiras foram os elementos que mais apresentaram tipos de anomalias, como apresentado no Quadro 13.

Quadro 13 - Valores de Fp, Fi e D para as barreiras

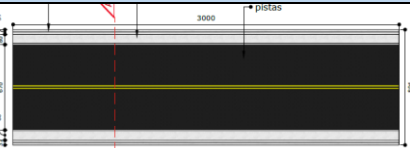
| GUARDA-CORPOS, BARREIRAS | | | | |
|--|---------------------|----|-----|---|
| Nome do Elemento | Guarda corpos geral | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Desagregação | 3 | 2 | 4,8 |  |
| Desplacamento | 3 | 2 | 4,8 | |
| Falhas de concretagem | 2 | 2 | 3,2 | |
| Fissuras | 3 | 2 | 4,8 | |
| Obs: Consultar Tabelas C para fissuras | | | | |

Fonte: Adaptado de Verly (2015)

Os danos de valores mais altos das barreiras estiveram associados as manifestações patológicas como desagregação e deslocamento do concreto e fissuras. Também foram constatados danos devido a falhas de concretagem.

O Quadro 14 apresenta os danos calculados para a pista de rolamento.

Quadro 14 - Valores de Fp, Fi e D para a pista de rolamento

| PISTA DE ROLAMENTO | | | | |
|-------------------------|----|----|---|--|
| Nome do Elemento | | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Desgaste superficial | 5 | 1 | 4 |  |
| Desgaste de sinalização | 5 | 1 | 4 | |

Fonte: Adaptado de Verly (2015)

Como pode ser observado, a pista apresentou desgaste superficial (que considerou as fissuras também) e de sinalização. Os demais elementos, como blocos de fundação não apresentaram anomalias.

A partir do cálculo dos danos, foi calculado o Grau de deterioração de cada elemento (Gde), cujos resultados estão apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 - Gde da ponte analisada

| GRAU DE DETERIORAÇÃO DE UM ELEMENTO (Gde) | | | |
|---|----------|---|--|
| Elementos | Gde | Nível de deterioração | Ações recomendadas |
| Pilares | 6 | Baixo | Estado aceitável; Manutenção preventiva. |
| Vigas e Transversinas | 12 | Baixo | Estado aceitável; Manutenção preventiva. |
| Lajes | 7 | Baixo | Estado aceitável; Manutenção preventiva. |
| Guarda-corpo, Barreiras | 8 | Baixo | Estado aceitável; Manutenção preventiva. |
| Pista de Rolamento | 6 | Baixo | Estado aceitável; Manutenção preventiva. |
| Nível de deterioração | Gde | Ações recomendadas | |
| Baixo | 0 - 15 | Estado aceitável. | |
| | | Manutenção preventiva. | |
| Médio | 15 - 50 | Definir prazo e natureza de nova inspeção. | |
| | | Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos). | |
| Alto | 50 – 80 | Definir prazo para inspeção especializada. | |
| | | Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano). | |
| Sofrível | 80 – 100 | Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. | |
| | | Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses). | |
| Crítico | > 100 | Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramentos, etc.) | |
| | | Planejar intervenção imediata. | |

Fonte: Autoria própria (2025)

O Gde indica que todos os componentes avaliados da ponte apresentam nível de deterioração baixo, com valores de Gde entre 6 e 12. Isso posiciona a estrutura na faixa de 0 a 15, considerada estado aceitável segundo a tabela de referência.

As vigas apresentaram o maior valor entre os elementos analisados. Isso sugere atenção futura, pois podem ser as primeiras a demandar ações corretivas se o processo de deterioração evoluir. A manutenção preventiva e o monitoramento periódico são fundamentais.

Em seguida efetuou-se o cálculo dos graus de deterioração de cada família de elementos (Gdf) e o grau de deterioração da estrutura (como apresentado no Quadro 16.

Quadro 16 - Grau de deterioração da ponte sobre o Rio São José
GRAU DE DETERIORAÇÃO DE UMA FAMÍLIA DE ELEMENTOS (Gdf)

| GRAU DE DETERIORAÇÃO DE UMA FAMÍLIA DE ELEMENTOS (Gdf) | | |
|---|----------|---|
| Família | Gdf | |
| Barreiras, guarda-corpo e pista de rolamento | 12 | |
| Transversinas | 19 | |
| Lajes, vigas secundárias | 20 | |
| Vigas principais e pilares | 22 | |
| GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA (Gd) | | |
| Família | Fr | K |
| Barreiras, guarda-corpo, pista de rolamento | 1 | 12 |
| Tranversinas | 3 | 56 |
| Lajes, fundações, vigas secundárias | 4 | 80 |
| Vigas e pilares principais | 5 | 108 |
| Gd | | 19 |
| Nível de deterioração | Gd | Ações recomendadas |
| Baixo | 0 - 15 | Estado aceitável. Manutenção preventiva. |
| Médio | 15 - 50 | Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos). |
| Alto | 50 – 80 | Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano). |
| Sofrível | 80 – 100 | Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses). |
| Crítico | > 100 | Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramentos, etc.) Planejar intervenção imediata. |
| SOLUÇÃO TÉCNICA | | |
| 1) Refazer a instalação dos tubos de drenagem transpassando em no mínimo 15 cm da superfície da laje fundo; 2) Recuperação das áreas degradadas/deterioradas pelas infiltrações ao redor dos tubos; 3) Tratamento das fissuras com injeção de resina epóxi; 4) Reparos localizados nas barreiras | | |

Fonte: Autoria própria (2025)

O Grau de Deterioração da Estrutura (Gd) calculado foi 19, enquadrando a ponte no nível de deterioração médio. Esse resultado indica que a ponte apresenta condição estrutural aceitável, porém requer planejamento de intervenção em longo prazo (até 2 anos).

Como solução técnica é recomendado refazer a instalação dos tubos de drenagem transpassando em no mínimo 15 cm da superfície da laje fundo, recuperação das áreas degradadas/deterioradas pelas infiltrações ao redor dos tubos, tratamento das fissuras com injeção de resina epóxi e reparos localizados nas barreiras, tudo isso com foco na melhoria da drenagem, selagem das fissuras e recuperação das áreas com início de corrosão.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o grau de risco estrutural de uma ponte em concreto armado da região oeste do Paraná. A partir da análise de 17 laudos técnicos de inspeção, foi possível identificar as manifestações patológicas mais recorrentes, organizar o instrumento para realizar a inspeção em uma ponte.

A análise dos laudos de inspeção revelou que as principais anomalias encontradas nas pontes avaliadas foram fissuras no pavimento (47,06%), fissuras em vigas e degradação do concreto dos pilares (ambas com 41,18%). Essas patologias têm origem multifatorial, mas estão fortemente relacionadas à ausência de manutenção preventiva e ao envelhecimento das estruturas. Foram propostas recomendações de ações corretivas. Porém, foi possível perceber que toda a inspeção foi realizada com base em critérios pouco objetivos, em função da experiência do engenheiro responsável pela inspeção.

Desta forma, foi elaborado o instrumento de inspeção e classificação de risco, fundamentado nas diretrizes da ABNT NBR 9452:2023, complementadas pela DNIT 010/2004-PRO, e com o cálculo do grau de deterioração segundo a metodologia GDE/UnB. Essa combinação proporcionou um modelo completo, que integra critérios qualitativos e quantitativos em uma abordagem objetiva e padronizada.

A realização da inspeção da ponte sobre o Rio São José por meio do uso do referido instrumento, demonstrou sua eficiência e aplicabilidade prática, permitindo identificar as manifestações patológicas presentes, classificá-las por severidade e estimar o grau de deterioração global da estrutura. O resultado enquadrou a ponte na categoria de deterioração média, indicando a necessidade de intervenções de manutenção em longo prazo, sem risco iminente à segurança.

Após a aplicação do instrumento para coleta de dados, foi possível constatar que o instrumento é adaptável, de fácil utilização e compatível com diferentes realidades estruturais, podendo ser empregado por engenheiros e órgãos públicos responsáveis pela conservação da malha rodoviária. Além disso, sua estrutura em planilha eletrônica facilita o armazenamento e o tratamento estatístico dos dados, promovendo uma gestão mais eficiente das obras de arte especiais.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se aplicar o instrumento em um número maior de pontes, ampliando a base de dados e permitindo a análise

comparativa entre diferentes tipologias estruturais, integrar o modelo com ferramentas de georreferenciamento (GIS) e bancos de dados digitais e avaliar a possibilidade de incorporar ensaios não destrutivos e técnicas de sensoriamento remoto, visando ao monitoramento contínuo das estruturas.

Em suma, o trabalho demonstra que a adoção de métodos padronizados e de instrumentos técnicos baseados em critérios objetivos é essencial para assegurar a segurança, durabilidade e eficiência das pontes rodoviárias de concreto, contribuindo diretamente para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura de transportes do país.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9452**: inspeção de pontes, viadutos e passarelas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- BARRETO, TATIANA C. M.; PARENTE, IGOR M. S. Distintas formas de corrosão das armaduras de estruturas em concreto armado: uma revisão. **Intercorr 2018 – congresso brasileiro de corrosão**. São Paulo, 2018.
- CARDOSO, MARCO A. N. **Metodologia de avaliação da segurança estrutural de pontes de concreto armado**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.
- CARVALHO, D. I. ET AL. **Análise das manifestações patológicas identificadas na ponte sobre o Rio Tocantins, Porto Nacional –TO**. cbpe – congresso brasileiro de patologia das construções, s.d.
- CASTRO, A. L. **Metodologia para avaliação de deterioração de estruturas de concreto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, 1994.
- CORREIA, L. B.; MENDES, L. C. Análise de espessuras de lajes de pontes em balanço. **Research, Society And Development**, V. 10, N. 8, P. E50610817556, 2021.
- CORREIA, LUAN B.; MENDES, LUIZ C. Análise comparativa de lajes de pontes em balanço com base no método de elementos finitos. 2021. Artigo publicado em **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e20101521141, 2021.
- CRUZ, P. J. S.; WIŚNIEWSKI, D.; CASAS, J. R. Safety assessment of existing road bridges: current practices and future needs. **Structure and infrastructure engineering**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2020.
- CRUZ, PAULO J. S.; MENDONÇA, TIAGO; CALÇADA, RUI. Métodos de avaliação da segurança de pontes existentes. s.d. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**, n. 1, s.d.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 010/2004 – PRO**: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2004.
- EUQUERES, PRISCILLA. **Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- EUQUERES, S. S. **Avaliação de pontes em concreto armado utilizando a metodologia GDE/UnB**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, 2011.
- FONTELLES, M. J., SIMÕES, M. G., FARIAS, S. H., GARCIA, R., & FONTELLES, S. ([S.D.]). **Metodologia da pesquisa científica**: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa 1 scientific research methodology: guidelines for elaboration of a research protocol. 2009.

MILANI, C. J.; KRIPKA, M. A. identificação de patologias em pontes de madeira: diagnóstico realizado no sistema viário do município de Pato Branco-Paraná. **Revista Eletrônica De Engenharia Civil**, V. 4, [S.D.]. 2012.

MORAIS, JOÃO MARCOS P.; SILVA, ANA MARIA; BARBOZA, EDVAN NILSON; SILVA, ELIZÂNGELA M.; OLIVEIRA, BEATRIZ B. Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: uma revisão. 2020. Artigo publicado em **Research, Society and Development, Lavras**, v. 9, n. 7, p. 1–32, 2020.

MÜLLER, RICARDO. **Critérios para o planejamento e execução de recuperações estruturais em pontes e viadutos rodoviários no Estado do Paraná**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

OLIVEIRA, FERNANDA; OLIVEIRA, MARCOS. Análise do comportamento estrutural da ponte sobre o Rio Joanes na BR-324/BA por meio de monitoramento da integridade estrutural. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 13, p. 61-77, 2018.

OLIVEIRA, J. C. S. DE ET AL. **Eficácia da gestão de pontes rodoviárias à luz das práticas de inspeção brasileiras**. 2019. Artigo (produção técnica). Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, 2019.

PAVI, SUELEN; BORDIN, FABIANE; VERONEZ, MAURÍCIO ROBERTO. **O uso do laser scanner terrestre na inspeção de pontes e viadutos de concreto: uma revisão bibliográfica**. s.d. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, RS.

PFEIL, Walter. **Pontes em concreto armado: elementos de projeto, solicitações, dimensionamento**. Rio de Janeiro: LTC, 1983. 2v.

RAMALHO DA SILVA, THAMIRES; RIBEIRO, FÁBIO HENRIQUE M. Análise das manifestações patológicas presentes na ponte situada sobre o Rio Tocantins em Porto Nacional-TO. 2020. **Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Patologia das Construções – CBPAT 2020**, Palmas, Tocantins, 2020.

REZENDE, F. R. **Levantamento e análise das manifestações patológicas de pontes: estudo de caso na cidade de palmas – TO**. 2019. Trabalho De Conclusão De Curso (Bacharelado Em Engenharia Civil) – Universidade Federal Do Tocantins, Palmas, 2019.

RIMOLA, BRUNO D.; NUNES, DAVI F.; BRITO, FLÁVIO R.; GARCIA, EDUARDO O. Estudo da resposta dinâmica e verificação de projeto à fadiga de pontes rodoviárias mistas (aço-concreto) com interação parcial. 2016. **Trabalho apresentado no Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia (CILAMCE 2016)**, Brasília, 2016.

SANTOS, A. R.; GOMES, H. D. R. **Avaliação da segurança de pontes existentes**. 2022. Relatório Técnico. Universidade Federal Do Tocantins, Departamento De Engenharia Civil, Palmas, 2022.

SANTOS, A., BONATTE, M., NETO, J., SOUSA, H., & BITTENCOURT, T. ([S.D.]). **Avaliação da segurança de pontes existentes por meio da análise de confiabilidade: estudos de casos.** 2022.

SANTOS, ADEMIR F. A.; GOMES, BRUNO W. F. Inspeção visual da ponte Joaquim Aires Porto Nacional (TO). 2021. **Artigo publicado em Engineering Sciences**, v. 9, n. 3, p. 1–11, 2021.

SANTOS, ADEMIR F. A.; MARQUES, TAIANE A. Inspeção na ponte do setor Jardim Querido em Porto Nacional. 2021. **Artigo publicado em Engineering Sciences**, v. 9, n. 3, p. 30–40, 2021.

SANTOS, ADEMIR F. A.; SILVA, LUIZ N. Inspeção na ponte do setor Umuarama em Porto Nacional. 2021. **Artigo publicado em Engineering Sciences**, v. 9, n. 1, p. 125–137, 2021.

SANTOS, H. M., NETO, L. L., & GOMES DE SOUSA JÚNIOR, L. ([S.D.]). Estudo dos benefícios relacionados a implementação de juntas em pontes e viadutos: Uma Revisão Bibliográfica Study Of Benefits Related To The Implementation Of Joints In Bridges And Viadutts: A Bibliographical Review. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento.** Ponte. 2024

SILVA, C. J. G.; MONTEIRO, E.; VITÓRIO, J. P. A. Condições estruturais e funcionais de pontes e viadutos das rodovias federais de Pernambuco. **Revista Alconpat**, V. 8, N. 1, P. 79–93, 2018.

SILVA, MARIA EDUARDA A.; SILVA, LEANDRO C.; MOURA, ANA LÍDIA C. Patologias no concreto armado em elementos de projetos **estruturais**: uma revisão. 2022. **Artigo publicado em Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 6, p. 43522–43539, 2022.

SILVA, THALES G.; SANTOS, ADEMIR F. A. Estudo das patologias da ponte sobre o Rio Tocantins em Porto Nacional/TO. 2020. **Artigo publicado em Technology Science**, v. 2, n. 1, p. 33–36, 2020.

SOUSA, FERNANDO L.; SILVA JUNIOR, FRANCISCO V. Análise das manifestações patológicas da ponte sobre o Rio Taquari em Araguatins/TO. 2020. **Artigo publicado em Engineering Sciences**, v. 8, n. 1, p. 45–56, 2020.

VERLY, R. M. **Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB a obras de arte especiais.** Universidade de Brasília, 2015.

VITÓRIO, JOSÉ ANTÔNIO P. Avaliação do grau de risco estrutural de pontes rodoviárias de concreto. 2008. **Trabalho apresentado no 50º Congresso Brasileiro do Concreto (CBC 2008)**, IBRACON, Fortaleza, 2008.

VITÓRIO, JOSÉ ANTÔNIO P.; BARROS, ROBERTA MARIA MARCONDES C. **Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no Brasil.** 2013. In: CRUZ, Paulo J. S.; CALÇADA, Rui; MENDONÇA, Tiago (Org.). Segurança, conservação e reabilitação de pontes. Lisboa: Associação Portuguesa para a Segurança e Conservação de Pontes, 2013.

W. PODOLNY AND J. B. SCALZI. **Construction and Design of Cable Stayed Bridges.** John Wiley and Sons, New York, 1986.

APÊNDICE A – Instrumento para inspeção de pontes

Quadro A1 - Ficha cadastral

| FICHA CADASTRAL | |
|--|---------------------------------------|
| Inspeção (ano): | Código da OAE: |
| Jurisdição (DNIT, Concessão ou outros): | Data da inspeção: |
| PARTE I – Informações gerais | |
| A – Identificação e localização | |
| Rodovia, ferrovia ou município: | Sentido: |
| Obra (nome): | Localização (quilômetro ou endereço): |
| B – Histórico das inspeções | |
| Cadastral: | Última rotineira: |
| Especial: | |
| C – Descrição das intervenções executadas ou em andamento | |
| Reparos: | |
| Alargamento: | |
| Reforços: | |
| Outros: | |
| PARTE II – Registro de manifestações patológicas | |
| A – Elementos estruturais | |
| Superestrutura: | |
| Mesoestrutura: | |
| Infraestrutura: | |
| Aparelhos de apoio: | |
| Juntas de dilatação: | |
| Encontros: | |
| Taludes: | |
| Outros elementos: | |
| B – Elementos da pista ou funcionais | |
| Pavimento e/ou via permanente ferroviária: | |
| Acostamento, gabarito por via permanente, refúgio: | |
| Drenagem: | |
| Guarda-corpos: | |
| Barreiras de concreto/Defensas metálicas: | |
| Contratrilhos, dormentes, fixações e lastro: | |
| Iluminação: | |
| Sinalização: | |
| Gabaritos: | |
| C – Outros elementos | |
| Acessos e entornos (Barreiras rígidas/defensas metálicas): | |
| Vias de acesso (iluminação e sinalização): | |
| Proteção de pilares: | |
| Elementos não caracterizados acima: | |
| D – Informações complementares | |
| | |

| |
|--|
| Levantamento fotográfico (mínimo oito registros fotográficos) |
|--|

Fonte: Adaptado de (NBR 9452/2023)

O preenchimento da ficha cadastral deve ser feito com atenção e organização, garantindo que todos os campos sejam completados corretamente, conforme as normas e o sistema de avaliação utilizado. Abaixo está um guia simplificado para cada etapa:

a) Cabeçalho da ficha

- Inspeção (ano): escreva o ano em que a vistoria foi feita (ex.: 2025).
- OAE Código: anote o código de identificação da ponte, definido pelo órgão responsável (ex.: BR-101 km 45).
- Jurisdição: informe o órgão que cuida da ponte (ex.: DER, DNIT ou concessionária).
- Data da inspeção: registre o dia, mês e ano da vistoria. Se durou mais de um dia, indique o intervalo.

b) Informações gerais

- Rodovia, ferrovia ou município: escreva o nome da via ou localidade e o sentido do tráfego.
- Obra (nome): informe o nome oficial ou popular da ponte.
- Localização (km ou endereço): indique o quilômetro ou o endereço exato; se possível, adicione as coordenadas GPS.

c) Histórico de inspeções anteriores

- Cadastral: data da primeira ficha de cadastro.
- Última rotineira: data da última inspeção periódica.
- Especial: data da última inspeção especial (se houver).
- Se não houver registros, escreva “Não disponível” ou “Não realizada”.

d) Histórico de intervenções

- Reparos, Alargamentos, Reforços e Outros: descreva brevemente os serviços feitos (tipo, data e extensão).

- Exemplo: “Reparo no tabuleiro – 2022 – 30 m²”.

e) Manifestações patológicas e condições estruturais

Para cada item, anote:

- Local exato: onde o problema aparece (ex.: viga 2, parte inferior).
- Tipo de defeito: fissura, corrosão, infiltração, dentre outros.
- Severidade: leve, média ou alta.
- Extensão: tamanho ou área afetada (use mm, m ou m²).
- Relacione as fotos correspondentes e, se possível, faça um pequeno croqui indicando o ponto do defeito.

f) Elementos estruturais e funcionais

- Estruturais: lajes, tabuleiros, vigas, pilares, blocos, apoios.
- Funcionais: pavimento, drenagem, guarda-corpos, defensas, barreiras, iluminação e sinalização.
- Registre as anomalias e relacione as fotos com o número do item.

g) Informações complementares

- Descreva condições do entorno que influenciam a ponte (cheias, tráfego pesado, obras próximas, etc.).
- Nomeie as fotos de forma padronizada (ex.: “ponte_riotalgado_fissura01.jpg”) e anexe nos locais indicados.

Quadro A.2 - Fator Fp para pilares

| PILARES | | | | |
|-------------------------------------|-------|----|---|---------------------|
| Nome do Elemento | | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação do concreto | 3 | | | |
| Cobrimento deficiente | 3 | | | |
| Contaminação por cloretos | 4 | | | |
| Corrosão de armaduras | 5 | | | |
| Desagregação | 3 | | | |
| Desplacamento | 3 | | | |
| Desvio de geometria | 4 | | | |
| Eflorescência | 2 | | | |
| Falha de concretagem | 3 | | | |
| Fissuras | 2 a 5 | | | |
| Manchas | 3 | | | |
| Recalque | 5 | | | |
| Sinais de esmagamento | 5 | | | |
| Umidade excessiva na infraestrutura | 4 | | | |

Obs: Consultar Tabelas C para fissuras

Fonte: Adaptado Verly (2015)

Quadro A.3 - Fator Fp para vigas e transversinas

| VIGAS E TRANSVERSINAS | | | | |
|---------------------------|-------|----|---|---------------------|
| Nome do Elemento | | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação do concreto | 3 | | | |
| Cobrimento deficiente | 3 | | | |
| Contaminação por cloretos | 4 | | | |
| Corrosão de armaduras | 5 | | | |
| Desagregação | 3 | | | |
| Desplacamento | 3 | | | |
| Eflorescência | 2 | | | |
| Fissuras | 2 à 5 | | | |
| Falhas de concretagem | 2 | | | |
| Flechas | 5 | | | |
| Infiltração de água | 3 | | | |
| Manchas | 3 | | | |
| Sinais de esmagamento | 5 | | | |

Obs: Consultar Tabelas C para fissuras

Fonte: Adaptado Verly (2015)

Quadro A.4 - Fator Fp para lajes

| LAJES | | | | |
|---------------------------|-------|----|---|---------------------|
| Nome do Elemento | | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação do concreto | 3 | | | |
| Cobrimento deficiente | 3 | | | |
| Contaminação por cloretos | 3 | | | |
| Corrosão de armaduras | 5 | | | |
| Desagregação | 3 | | | |
| Desplacamento | 3 | | | |
| Eflorescência | 2 | | | |
| Falhas de concretagem | 2 | | | |
| Fissuras | 2 à 5 | | | |
| Flechas | 5 | | | |
| Infiltração de água | 3 | | | |
| Manchas | 3 | | | |

Obs: Consultar Tabelas C para fissuras

Fonte: Adaptado Verly (2015)

Quadro A.5 - Fator Fp para guarda-corpo, barreiras, guarda-rodas

| GUARDA-CORPOS, BARREIRAS | | | | |
|---------------------------|-------|----|---|---------------------|
| Nome do Elemento | | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação do concreto | 3 | | | |
| Cobrimento deficiente | 3 | | | |
| Contaminação por cloretos | 4 | | | |
| Corrosão de armaduras | 5 | | | |
| Desagregação | 3 | | | |
| Desplacamento | 3 | | | |
| Eflorescência | 2 | | | |
| Falhas de concretagem | 2 | | | |
| Fissuras | 2 à 5 | | | |
| Manchas | 3 | | | |
| Sinais de esmagamento | 4 | | | |

Obs: Consultar Tabelas C para fissuras

Fonte: Adaptado Verly (2015)

Quadro A.6 - Fator Fp para blocos de fundação

| BLOCOS DE FUNDAÇÃO | | | | |
|-------------------------------------|-------|----|---|---------------------|
| Nome do Elemento | | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Carbonatação do concreto | 3 | | | |
| Cobrimento deficiente | 3 | | | |
| Contaminação por cloretos | 4 | | | |
| Corrosão de armaduras | 5 | | | |
| Desagregação | 3 | | | |
| Desplacamento | 3 | | | |
| Eflorescência | 2 | | | |
| Falha de concretagem | 3 | | | |
| Fissuras | 2 à 5 | | | |
| Recalque | 5 | | | |
| Sinais de esmagamento | 5 | | | |
| Umidade excessiva na infraestrutura | 3 | | | |

Obs: Consultar Tabelas C para fissuras

Fonte: Adaptado Verly (2015)

Quadro A.7 - Fator Fp para juntas de dilatação

| JUNTAS DE DILATAÇÃO | | | | |
|--|----|----|---|---------------------|
| Nome do Elemento | | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Obstrução de junta | 5 | | | |
| Desgaste do material de preenchimento da junta | 5 | | | |
| Umidade | 5 | | | |

Obs: Consultar Tabelas C para fissuras

Fonte: Adaptado Verly (2015)

Quadro A.8 - Fator Fp para pista de rolamento


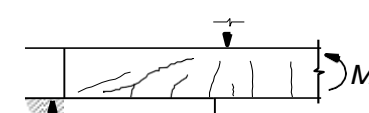
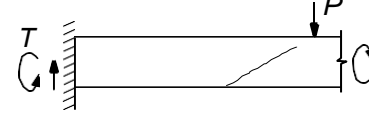
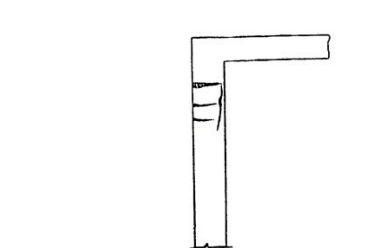
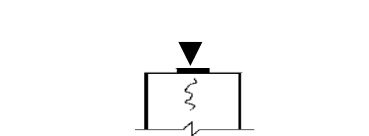
| PISTA DE ROLAMENTO | | | | |
|-------------------------|----|----|---|---------------------|
| Nome do Elemento | | | | |
| Danos | Fp | Fi | D | Croquis/Observações |
| Descontinuidade | 5 | | | |
| Desgaste superficial | 5 | | | |
| Desgaste de sinalização | 5 | | | |

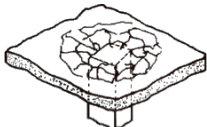
Obs: Consultar Tabelas C para fissuras

Fonte: Adaptado Verly (2015)

Quadro A.9 - Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados (F_p)

| | Fissuras* | Descrição | Croquis | F_p |
|-----------------|--|--|-----------------------|-------|
| ESTADO PLÁSTICO | De retração plástica do concreto | <ul style="list-style-type: none"> - comuns em lajes e paredes. - aproximadamente paralelas, superficiais e afastadas entre si de 0,3 a 1 m. | | 2 |
| | De assentamento do concreto | <ul style="list-style-type: none"> - sobre as armaduras. - em pilares, ficam abaixo dos estribos. - interação com armaduras vizinhas. | | 3 |
| | De movimentação de fôrmas | <ul style="list-style-type: none"> - indicam posicionamento e/ou fixação incorretos ou resistência insuficiente de fôrmas/escoramentos | | 3 |
| ESTADO | De retração do concreto por secagem | <ul style="list-style-type: none"> - fissuras em pilares e/ou vigas, por diferença grande de rigidezes (a). - aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b). - indicam restrição de movimentos. - profundidade reduzida. - aberturas < 0,1 a 0,2 mm. | <p>(a)</p> <p>(b)</p> | 3 |
| | Mapeadas | <ul style="list-style-type: none"> - mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes. - abertura e extensão reduzidas. - superfícies de concreto com desempenho excessivo. - danos só estéticos, em geral | | 2 |
| | De variações de temperatura | <ul style="list-style-type: none"> - em geral, normais ao eixo de elementos lineares, - indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação ou sua ausência. | | 3 |

| | Fissuras* | Descrição | Croquis | F_p |
|---|--|--|--|-------|
| ERROS DE PROJETO/ EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS | De flexão | - normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto. |  | 4 |
| | De força cortante e flexão | - mesma inclinação nas duas faces. - podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios. |  | 4 |
| | De flexão, cortante e torção | - inclinações diferentes nas faces laterais, com menor abertura da fissura em uma das faces. |  | 4 |
| | De flexo-tração em pilares | - normais ao eixo do pilar na face tracionada e paralelas na face comprimida: podem indicar esmagamento do concreto. - mais próximas de extremidades com maior momento. |  | 5 |
| | De compressão | - paralelas ao eixo ou bi-digonais no centro iminência de ruptura. - indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos. | | 5 |
| | De carga concentrada em área reduzida | - em apoios de pontes, estruturas pré- moldadas e apoios indiretos - indicam armadura deficiente de fretagem e mau detalhamento |  | 3 |
| | Em apoios do tipo Gerber (vigas e pilares) | - comuns em pontes e estruturas pré- moldadas. - indicam deficiência ao movimento em aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado. | | 3 |
| | De flexão em lajes | - na face inferior, saindo dos cantos e paralelas a bordos com continuidade ou vãos maiores. - na face superior, paralelas a bordos com continuidade. | | 4 |
| | De momentos volventes | - em cantos de lajes extremas, podendo surgir nas duas faces. - influenciadas por variações de temperatura e retração. | | 3 |

| | Fissuras* | Descrição | Croquis | F_p |
|--|------------------|--|---|-------|
| | De punção | - traçado circunferencial e/ou radial em torno do pilar. |  | 5 |

Fonte: Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (2015)

Quadro A.10 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

| Tipos de danos | Valores de Fi |
|---------------------------|--|
| Carbonatação | <p>5 → localizada, com regiões com pH < 9, sem afetar as armaduras.</p> <p>6 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco.</p> <p>7 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.</p> <p>8 → generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.</p> |
| Cobrimento deficiente | <p>4 → menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura.</p> <p>5 → menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões.</p> <p>6 → deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas.</p> |
| Contaminação por cloretos | <p>5 → elementos abrigados sem umidade</p> <p>6 → elementos no exterior sem umidade</p> <p>7 → ambientes úmidos.</p> |
| Corrosão de armaduras | <p>5 → manifestações leves, pequenas manchas.</p> <p>6 → grandes manchas e/ou fissuras de corrosão.</p> <p>7 → corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção (> 20% do diâmetro).</p> |
| Desagregação | <p>2 → início de manifestação.</p> <p>3 → manifestações leves, início de estofamento do concreto.</p> <p>4 → por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto.</p> |
| Deslocamento por empuxo | <p>3 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável.</p> <p>4 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável.</p> |
| Desplacamento | <p>2 → pequenas escamações do concreto.</p> <p>3 → lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura.</p> <p>4 → lascamento acentuado com perda relevante de seção.</p> |
| Desvios de Geometria | <p>2 → pilares e cortinas com excentricidade $e \leq h/100$ ($h = altura$).</p> <p>3 → pilares e cortinas com excentricidade $h/100 \leq e < h/50$.</p> <p>4 → pilares e cortinas com excentricidade $e \geq h/50$.</p> |
| Eflorescência | <p>1 → início de manifestações.</p> <p>2 → manchas de pequenas dimensões.</p> <p>3 → manchas acentuadas, em grandes extensões.</p> <p>4 → grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).</p> |
| Falha de concretagem | <p>1 → superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça.</p> <p>2 → significativa em relação às dimensões da peça.</p> <p>3 → significativa em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura.</p> <p>4 → perda relevante da seção transversal da peça (> 20% da área).</p> |

| Tipos de danos | Valores de Fi |
|-----------------------------------|--|
| Fissuras | <p>1 → abertura menores do que as máximas previstas em norma.</p> <p>2 → estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma.</p> <p>3 → aberturas excessivas; estabilizadas.</p> <p>4 → aberturas excessivas; não estabilizadas.</p> |
| Flechas | <p>1 → não perceptíveis a olho nu.</p> <p>2 → perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma.</p> <p>3 → superiores em até 40% às previstas na norma.</p> <p>4 → excessivas.</p> |
| Impermeabilização deficiente | <p>2 → danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização.</p> <p>3 → descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração).</p> <p>4 → degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.</p> |
| Infiltração de água | <p>1 → indícios de umidade.</p> <p>2 → pequenas manchas.</p> <p>3 → grandes manchas.</p> <p>4 → generalizada.</p> |
| Manchas | <p>2 → manchas escuras de pouca extensão, mas significativas (< 50% da área visível do elemento estrutural).</p> <p>3 → manchas escuras de grande extensão (>50%).</p> <p>4 → manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).</p> |
| Obstrução de juntas de dilatação | <p>2 → perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes.</p> <p>3 → presença de material não compressível na junta; incidência significativa de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes.</p> <p>4 → fissuras em lajes e paredes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.</p> |
| Recalques | <p>2 → indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria;</p> <p>3 → recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais.</p> <p>4 → recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.</p> |
| Sinais de esmagamento do concreto | <p>3 → desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas.</p> <p>4 → fissuras bi-diagonais, com lascamento e/ou esmagamento do concreto por cisalhamento-compressão, com perda substancial de material; exposição e início de flambagem de armaduras.</p> |

Fonte: Manual de aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obras de Arte Especiais (2015)

Quadro A.11 - Grau de deterioração de um elemento

| GRAU DE DETERIORAÇÃO DE UM ELEMENTO (Gde) | | | |
|--|------------|---|---------------------------|
| Elementos | Gde | Nível de deterioração | Ações recomendadas |
| Pilares | | | |
| Vigas e Transversinas | | | |
| Lajes | | | |
| Guarda-corpo, Barreiras | | | |
| Blocos de fundação | | | |
| Juntas de dilatação | | | |
| Pista de Rolamento | | | |
| Nível de deterioração | Gde | Ações recomendadas | |
| Baixo | 0 - 15 | Estado aceitável. Manutenção preventiva. | |
| Médio | 15 - 50 | Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos). | |
| Alto | 50 - 80 | Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano). | |
| Sofrível | 80 - 100 | Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses). | |
| Crítico | > 100 | Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramentos, etc.) Planejar intervenção imediata. | |

Fonte: Autoria própria (2025)

Quadro A.12 - Grau de deterioração da estrutura

| GRAU DE DETERIORAÇÃO DE UMA FAMÍLIA DE ELEMENTOS (Gdf) | | |
|---|------------|---|
| Família | Gdf | |
| Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento | | |
| Juntas de dilatação | | |
| Tranversinas, cortinas, alas | | |
| Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio | | |
| Vigas e pilares principais | | |
| GRAU DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA (Gd) | | |
| Família | Fr | K |
| Barreiras, guarda-corpo, guarda rodas, pista de rolamento | 1 | |
| Juntas de dilatação | 2 | |
| Tranversinas, cortinas, alas | 3 | |
| Lajes, fundações, vigas secundárias, aparelhos de apoio | 4 | |
| Vigas e pilares principais | 5 | |
| Gd | | |
| Nível de deterioração | Gd | Ações recomendadas |
| Baixo | 0 - 15 | Estado aceitável. Manutenção preventiva. |
| Médio | 15 - 50 | Definir prazo e natureza de nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos). |
| Alto | 50 – 80 | Definir prazo para inspeção especializada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano). |
| Sofrível | 80 – 100 | Definir prazo para inspeção especializada rigorosa. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses). |
| Crítico | > 100 | Inspeção especializada imediata e medidas emergenciais (alívio de cargas, escoramentos, etc.) Planejar intervenção imediata. |
| SOLUÇÃO TÉCNICA | | |
| | | |

Fonte: Autoria própria (2025)