



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ARTHUR LUIZ GONÇALVES GUILHERME DE SOUZA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES: ESTUDO
DE CASO DE RODOVIAS DE ACESSO AO MUNICÍPIO DE ANGICOS/RN**

ANGICOS
2023

ARTHUR LUIZ GONÇALVES GUILHERME DE SOUZA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES: ESTUDO
DE CASO DE RODOVIAS DE ACESSO AO MUNICÍPIO DE ANGICOS/RN**

Trabalho Final de Graduação
apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega,
Profa. Dra.

ANGICOS
2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S7191 Souza, Arthur Luiz Gonçalves Guilherme de.
Levantamento de manifestações patológicas em
pontes: estudo de caso de rodovias de acesso ao
Município de Angicos/RN / Arthur Luiz Gonçalves
Guilherme de Souza. - 2023.
66 f. : il.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nobrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2023.

1. Manifestações patológicas. 2. Falta de
manutenção. 3. Estado de conservação. I. Nobrega,
Marcilene Vieira da, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ARTHUR LUIZ GONÇALVES GUILHERME DE SOUZA

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES: ESTUDO
DE CASO DE RODOVIAS DE ACESSO AO MUNICÍPIO DE ANGICOS/RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em:10/10/2023

BANCA EXAMINADORA

Marcilene Vieira da Nobrega, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Arthur Gomes Dantas de Araújo, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Luís Henrique Gonçalves Costa, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão aos meus queridos familiares, cujo apoio inabalável e compreensão ao longo deste desafiador percurso foram fundamentais para meu sucesso nesta jornada acadêmica.

Aos respeitados professores do curso de Engenharia Civil, minha gratidão pela dedicação incansável em transmitir conhecimento e inspirar meu crescimento profissional.

Em especial, desejo agradecer calorosamente à minha orientadora de TFG, cuja orientação perspicaz, orientação firme e incentivo constante foram pilares cruciais para a conclusão deste trabalho.

Sou profundamente grato a todos por fazerem parte desta significativa conquista em minha vida.

RESUMO

Tendo em vista à incerteza em relação à presença ou ausência de manifestações patológicas nas pontes que servem como acessos vitais ao município de Angicos, pesquisa-se sobre as manifestações patológicas em pontes das rodovias de acesso ao município de Angicos/RN, a fim de realizar um levantamento dessas manifestações. Para tanto, é necessário identificar as pontes existentes na região de Angicos/RN e suas características gerais (ano de construção, dimensões, materiais utilizados, etc.), realizar inspeções visuais nas pontes selecionadas, utilizando técnicas dispostas na literatura, analisar as informações obtidas nas inspeções visuais e classificar as pontes de acordo com seu estado de conservação e possíveis patologias, e propor soluções para eventuais problemas identificados nas pontes, levando em consideração a viabilidade técnica e econômica das soluções. Realiza-se, então, uma pesquisa qualitativa e quantitativa. Diante disso, verifica-se que todas as pontes analisadas possuem manifestações patológicas e não passaram por reparos substanciais, o que reforça a necessidade de inspeções regulares e a implementação de medidas de reparo e manutenção adequadas para garantir a segurança e a durabilidade dessas estruturas fundamentais para o município de Angicos/RN.

Palavras-chave: Manifestações patológicas. Falta de manutenção. Estado de conservação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estruturação de uma ponte genérica	15
Figura 2 - Modelo de uma ponte sem encontros	16
Figura 3 – Modelo de pontes retas e curvas	20
Figura 4 – Pontes retas (a). Pontes curvas (b)	21
Figura 5 - Tipos estruturais das pontes	22
Figura 6 - (a) tabuleiro inferior. (b) tabuleiro intermediário. (c) tabuleiro superior	23
Figura 7 – Falha de concretagem.....	28
Figura 8 - Índice de problemas patológicos em obras	33
Figura 9 – Tipos de fissuras	39
Figura 10 - Mapa de localização e de pontes em Angicos/RN	42
Figura 11 - Manifestações patológicas em instalações pluviais	47
Figura 12 - Manifestações patológicas em instalações diversas.....	49
Figura 13 - Manifestações patológicas em guarda-corpos.....	51
Figura 14 - Manifestações patológicas em pavimentos.....	53
Figura 15 - Juntas de dilatação sujas e ressecadas.....	55
Figura 16 - Desplacamento, corrosão, fissura e lixiviação em pilares.....	57
Figura 17 - Manifestações patológicas em encontros.....	59
Figura 18 - Manifestações patológicas em vigas.....	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Manifestações patológicas em instalações pluviais	46
Gráfico 2 - Manifestações patológicas em instalações diversas	48
Gráfico 3 - Manifestações patológicas em guarda-corpos.....	50
Gráfico 4 - Manifestações patológicas em pavimentos	52
Gráfico 5 - Manifestações patológicas em juntas de dilatação	54
Gráfico 6 - Manifestações patológicas em pilares	56
Gráfico 7 - Manifestações patológicas nos encontros	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quadro geral das obras de arte. Características gerais	46
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das fissuras.....	39
Quadro 2 – Quadro de classificação das obras de arte.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos específicos	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Definição	16
2.2 Elementos estruturais constituintes das pontes	16
2.3 Classificação das pontes	19
2.3.1 Natureza do tráfego	20
2.3.2 Material da superestrutura	20
2.3.3 Desenvolvimento planimétrico	21
2.3.4 Desenvolvimento altimétrico	22
2.3.5 Comprimento	23
2.3.6 Esquema estrutural da superestrutura.....	23
2.3.7 Posição do tabuleiro	24
2.4 Ações atuantes nas pontes rodoviárias.....	25
2.4.1 Ações permanentes	26
2.4.2 Ações variáveis.....	27
2.5 Falhas no processo produtivo	28
2.5.1 Falhas na concretagem	29
2.5.2 Falhas em juntas de dilatação	30
2.5.3 Falhas em instalações de drenagem	31
2.5.4 Falhas em encontros de obras-de-arte	32
2.6 Patologias e manifestações patológicas em pontes de concreto armado	34
2.6.1 Ninhos de concretagem	35
2.6.2 Corrosão das armaduras	37
2.6.3 Eflorescências	38
2.6.4 Fissuração	40
3 METODOLOGIA.....	44
4 RESULTADOS	46
4.1 Classificação e características gerais	46
4.2 Percentual de incidência das manifestações patológicas.....	47
4.2.1 Instalações Pluviais	47

4.2.2 Instalações diversas	49
4.2.3 Guarda-corpos.....	51
4.2.4 Pavimentos	53
4.2.5 Juntas de dilatação	55
4.2.6 Pilares.....	57
4.2.7 Encontros.....	59
4.2.8 Vigas.....	61
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64

1 INTRODUÇÃO

As pontes desempenham um papel importante na infraestrutura viária, possibilitando a interligação de regiões, facilitando a mobilidade de pessoas e o transporte de mercadorias, e promovendo o desenvolvimento econômico e social. Segundo Pinho e Bellei (2007), as pontes são estruturas emblemáticas, pois carregam uma significância histórica e simbólica, além de serem fundamentais para a conectividade das comunidades e o desenvolvimento das regiões.

No entanto, ao longo do tempo, essas estruturas estão suscetíveis a diversos fatores que podem comprometer sua integridade e segurança, tais como desgaste natural, eventos extremos, falta de manutenção adequada, erros de projeto e construção, dentre outros. Manifestações patológicas, como trincas, fissuras, corrosão e deformações, são fenômenos indesejáveis que podem surgir como resultado desses danos ou deterioração em seus componentes estruturais.

De acordo com Helene (1993), a manifestação de problemas em pontes é um fenômeno complexo, e os fatores que contribuem para o surgimento de danos são variados e inter-relacionados, envolvendo características estruturais, condições ambientais e qualidade da manutenção.

Nesse contexto, a realização de estudos sistemáticos e aprofundados torna-se imprescindível para identificar e analisar as condições gerais das pontes, com o intuito de preservar a segurança dos usuários e garantir a funcionalidade dessas estruturas tão essenciais para a sociedade.

Antesposto, indaga-se: As pontes das rodovias que dão acesso ao município de Angicos/RN possuem manifestações patológicas? Como está o estado de conservação dessas pontes? Qual a solução para estes casos?

Parte-se da hipótese de que existem manifestações patológicas nas pontes das rodovias de acesso à Angicos/RN, as quais não foram, ou se foram, foram tratadas de forma infrutífera, uma vez que é possível observar à olho nu algumas destas manifestações.

No segundo capítulo, se abordará os principais conceitos em relação a manifestações patológicas em pontes, dando ênfase a corrosão, fissuras e ninhos de concretagem.

No terceiro capítulo, realiza-se um levantamento das pontes existentes na região de Angicos/RN, incluindo informações sobre sua localização, número de pistas, vão livre, altura, e outros dados relevantes, identificando, inclusive, o ano de

construção, dimensionamento, materiais utilizados, tipo de estrutura (ponte de concreto, aço, madeira, etc.), e eventuais registros históricos relevantes sobre cada ponte.

No quarto capítulo, faz-se uma pesquisa e utilizando de técnicas padronizadas de inspeção visual de pontes disponíveis na literatura técnica e normas aplicáveis, se realizará a inspeção visual das pontes selecionadas para identificar possíveis problemas estruturais, deteriorações, corrosões ou outras patologias aparentes.

Por fim, conclui-se que os objetivos são atendidos, e a pergunta resta respondida com a confirmação da hipótese, possibilitando com que as autoridades responsáveis pela infraestrutura viária possam tomar ações adequadas, implementando medidas preventivas e corretivas que assegurem a durabilidade e integridade das pontes, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região e a segurança dos usuários dessas importantes vias de acesso.

1.1 Objetivos

Buscando compreender a condição atual dessas estruturas fundamentais para a mobilidade da região, o projeto tem como meta principal inspecionar, identificar, analisar e propor soluções para possíveis problemas identificados, visando garantir a segurança, durabilidade e adequação das pontes às normas técnicas brasileiras.

1.1.1 Objetivo geral

Realizar um levantamento das manifestações patológicas das pontes de acesso do município de Angicos/RN.

1.1.2 Objetivos específicos

Caracterizar as pontes existentes na região de Angicos/RN e suas características gerais (ano de construção, dimensões, materiais utilizados etc.).

Realizar inspeções visuais nas pontes selecionadas, utilizando técnicas dispostas na literatura.

Analisar as informações obtidas nas inspeções visuais e classificar as pontes de acordo com seu estado de conservação e possíveis patologias.

Propor soluções para eventuais problemas identificados nas pontes, levando em consideração a viabilidade técnica e econômica das soluções.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A manutenção e conservação de pontes são importantes para garantir a segurança e o bom funcionamento dessas estruturas. A falta de manutenção pode levar a problemas estruturais, como a corrosão de elementos metálicos, trincas e fissuras, e até mesmo a ruína da ponte.

2.1 Definição

As pontes de concreto são estruturas de engenharia civil projetadas e construídas para possibilitar a transposição de obstáculos naturais ou artificiais, tais como corpos d'água, vales, rodovias ou outras barreiras, oferecendo uma passagem segura e eficiente para o tráfego de veículos, pedestres e cargas.

De acordo com Marchetti (2008), as pontes são estruturas projetadas com o objetivo de estabelecer conexões entre vias de comunicação que foram descontinuadas devido a obstáculos naturais, como rios e braços de mar. Por outro lado, quando a interrupção ocorre em razão de um vale ou outra via, denomina-se mais precisamente de viaduto.

2.2 Elementos estruturais constituintes das pontes

A elaboração de projetos de pontes é viável com os principais materiais estruturais da construção civil, tais como alvenaria, madeira, concreto e aço. A escolha do material e o método construtivo adequado dependem da finalidade da ponte, podendo combinar diferentes elementos para atingir elevados índices de resistência, ao mesmo tempo em que se busca um alto padrão estético e uma execução eficiente, minimizando custos e prazos.

Dentre os materiais utilizados na construção de pontes, o concreto armado se destaca. Ele é obtido pela mistura de agregados com cimento e água, podendo ser enriquecido com diversos tipos de aditivos. De acordo com Araújo (2010), é possível acrescentar aditivos químicos, e assim otimizar as características do concreto fresco ou endurecido, adequando-o às necessidades específicas do projeto. Esses aditivos podem atuar como retardadores ou aceleradores de pega, plastificantes e

superplastificantes, etc.

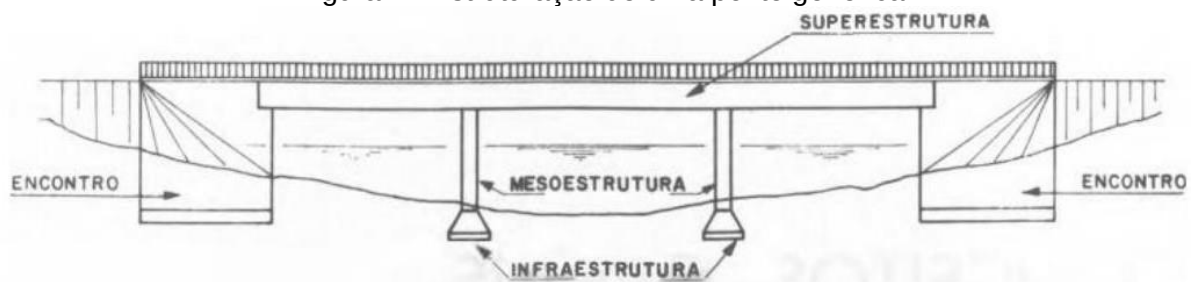
As pontes de concreto armado são escolhidas devido à disponibilidade dos materiais, facilidade de utilização, longa durabilidade e resistência. Essas estruturas representam são empregadas em larga escala cenário mundial devido às suas vantagens técnicas e econômicas. Ao selecionar adequadamente os materiais e técnicas construtivas, é possível alcançar pontes com desempenho superior, contribuindo para a conectividade e o desenvolvimento das regiões onde estão inseridas.

O concreto demonstra uma adequada capacidade de suportar esforços de compressão. No entanto, quando se trata da resistência à tração, o concreto simples requer reforço adicional. De acordo com as pesquisas de Botelho (2015), o concreto apresenta aproximadamente uma décima parte da resistência à tração em comparação com sua resistência à compressão. Dessa forma, torna-se essencial a utilização de materiais que supram essa lacuna.

Felizmente, há opções de misturas que proporcionam peças de concreto com resistências apropriadas para estruturas submetidas a intensos esforços de tração e compressão. Alguns exemplos são as estruturas de Concreto Armado, as estruturas de Concreto Protendido e as Misturas de concreto com adição de Fibras. Essas alternativas viabilizam a criação de estruturas sólidas e seguras, capazes de enfrentar as demandas impostas pelas diferentes condições de uso.

Os profissionais especializados e pesquisadores categorizam as estruturas de pontes de várias maneiras. Seguindo a referência de Pfeil (1979), elas são geralmente subdivididas em três componentes essenciais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

Figura 1 - Estruturação de uma ponte genérica



Fonte: Adaptado de Pfeil (1979)

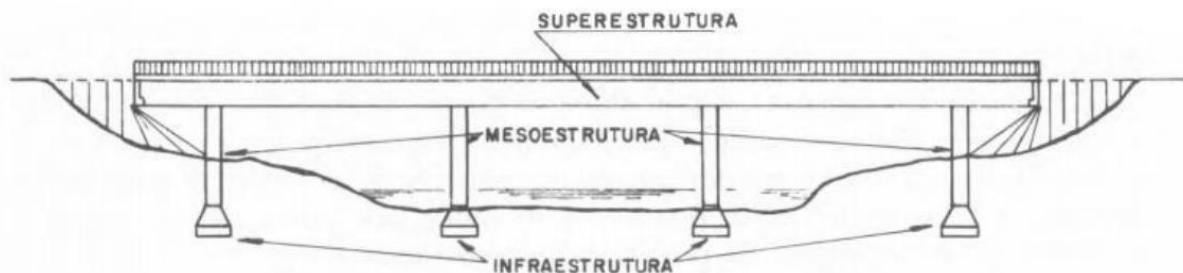
A infraestrutura, que também pode ser denominada de fundação tem a mesma função de uma fundação residencial, é ela que transmite ao terreno de implantação da obra, rocha ou solo, todos as cargas que vão advir da superestrutura e mesoestrutura. A mesma é composta por sapatas, estacas de fundação, blocos, etc.

A mesoestrutura, de acordo com Marchetti (2008), é a parte que está entre a super e a infraestrutura, ela é a responsável por transferir todos os esforços recebidos pela superestrutura à infraestrutura. Em conjunto com isso, suporta outros esforços recebidos diretamente de outras forças solicitantes, tais como pressões do vento e da água em movimento. Os pilares são os elementos que compõe a mesoestrutura.

Superestrutura é a parte útil da obra, a parte onde se trafega, ela é responsável por vencer o vão a ser transposto, e é composta basicamente de lajes e vigas principais e secundárias.

Alguns engenheiros consideram os encontros como partes constituintes da mesoestrutura, já outros da infraestrutura. Estes têm como função receber o empuxo dos aterros de acesso e proteger os demais elementos deste aterro. Apesar de imprescindíveis em algumas pontes, existem outros formatos que permitem a não utilização deles, normalmente em viadutos e pontes que não apresentam perigo de erosão pelo curso d'água, é o que relata Pfeil (1979). Na Figura 2 observa-se o detalhe para uma ponte com a ausência de encontro.

Figura 2 - Modelo de uma ponte sem encontros



Fonte: Pfeil (1979)

Nesse caso, os pilares que se encontram nos extremos é que ficam responsáveis por receber o empuxo dos aterros de acesso, e a superestrutura, ou melhor, o tabuleiro fica em balanço.

Para superar a limitação do concreto em relação à tração nas pontes, é comum empregar técnicas como a armação simples e/ou a protensão, esta última

especialmente útil para vencer grandes vãos sem comprometer a segurança da estrutura. É fundamental que as estruturas de concreto armado, assim como todas as obras civis, sigam rigorosamente as instruções normativas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Para esse caso específico, as especificações são predominantemente regidas pelas seguintes normas:

- ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento; ABNT NBR 6122:1996 – Projeto e execução de fundações.
- ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações Procedimento.
- DNER 698/100:1996 – Manual de projeto de obras de arte especiais;
- ABNT NBR 7187:2003 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento;
- ABNT NBR 7188:2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas.

Conforme estabelecido na norma ABNT (2014), os elementos de concreto armado são aqueles em que o comportamento estrutural depende da aderência entre o concreto e a armadura. Nesses elementos, não se aplicam alongamentos iniciais das barras de aço antes da concretagem, e o uso da armadura é direcionado para a região tracionada da peça, devido à limitada resistência do concreto a esforços de tração.

Essa metodologia permite que a parte comprimida seja sustentada apenas pelo concreto, enquanto a função do aço é resistir à tração. Portanto, é crucial que as barras de aço possuam uma boa aderência ao concreto e sejam adequadamente protegidas contra as agressividades ambientais que possam comprometer a segurança da estrutura. Dessa forma, os riscos de comprometimento estrutural são minimizados.

2.3 Classificação das pontes

A classificação precisa das pontes de concreto armado desempenha um papel fundamental, uma vez que influencia diretamente a tomada de decisões relacionadas

ao projeto, manutenção e reabilitação dessas estruturas vitais para a infraestrutura.

Uma classificação adequada, de acordo com OLIVEIRA (1999) leva em conta os seguintes itens: material da superestrutura, comprimento, natureza do tráfego, planimetria, altimetria.

2.3.1 Natureza do tráfego

A classificação de pontes com base na natureza do tráfego desempenha um papel crucial na engenharia civil, uma vez que direciona as estratégias de projeto e manutenção, levando em consideração as cargas dinâmicas e estáticas que a estrutura enfrentará ao longo de sua vida útil. Segundo Debs e Takeya (2009) as pontes podem ser designadas como rodoviárias, ferroviárias, pedestres ou mistas, dependendo do tipo de tráfego que irão suportar. Cada categoria exige uma análise cuidadosa das cargas predominantes, das vibrações e dos impactos esperados, bem como dos padrões de uso. A correta classificação permite dimensionar os elementos estruturais de acordo com as demandas específicas de cada tipo de tráfego, garantindo a resistência, a durabilidade e a segurança da ponte ao longo do tempo.

Além disso, de acordo com Marchetti (2017) a classificação quanto à natureza do tráfego também influencia a avaliação das condições de uso e das taxas de degradação. Pontes rodoviárias, por exemplo, podem ser submetidas a cargas variáveis e frequentes, incluindo veículos de diferentes tamanhos e pesos. Já pontes ferroviárias enfrentam forças de impacto e vibrações originárias dos trens, que requerem sistemas de absorção de energia e estruturas robustas. A categorização precisa possibilita o desenvolvimento de estratégias de manutenção adaptadas, como inspeções regulares, monitoramento de desgaste e corrosão, bem como ações corretivas específicas para cada tipo de tráfego. Portanto, a classificação precisa das pontes com base na natureza do tráfego é um passo fundamental para assegurar o desempenho seguro e eficiente dessas estruturas essenciais para a mobilidade e a conectividade.

2.3.2 Material da superestrutura

A classificação das pontes quanto ao material da superestrutura é um elemento

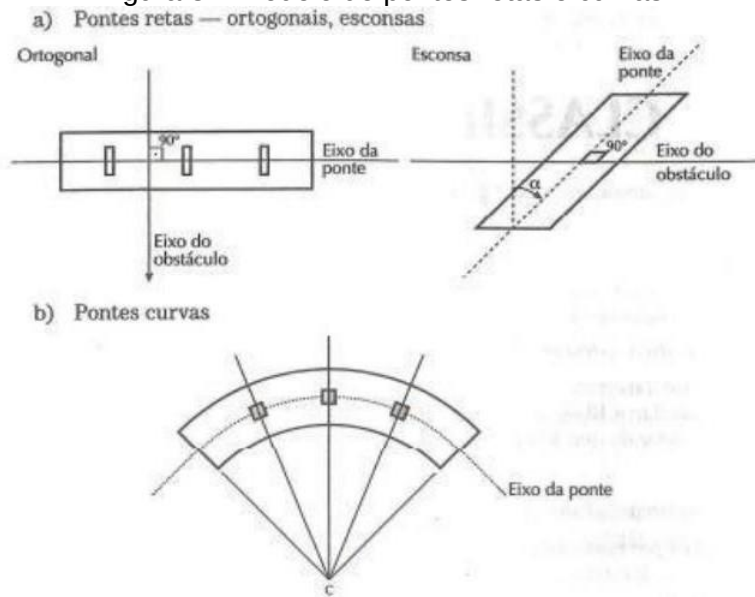
central na engenharia estrutural, visto que os materiais utilizados influenciam diretamente a resistência, durabilidade e comportamento das estruturas perante as demandas impostas pelo ambiente e pelo tráfego. Conforme diz Marchetti (2017), as pontes podem ser classificadas em concreto armado, concreto protendido, aço e madeira, de acordo com os materiais predominantes na sua superestrutura. Cada categoria apresenta características distintas em termos de capacidade de carga, fadiga, corrosão e manutenção. A escolha criteriosa do material da superestrutura é essencial para otimizar o desempenho estrutural da ponte, considerando sua função, vida útil e custos de construção e manutenção.

A classificação adequada das pontes com base no material da superestrutura também permite a implementação de estratégias específicas de monitoramento e manutenção. Vitório (2006), diz que as pontes de concreto armado, por exemplo, podem exigir inspeções frequentes para identificar sinais precoces de deterioração do concreto e corrosão das armaduras. Já pontes de aço podem demandar avaliações regulares para identificar pontos de corrosão e fadiga estrutural. Ao classificar corretamente a ponte quanto ao material da superestrutura, os engenheiros podem desenvolver planos de manutenção proativos, incluindo a aplicação de revestimentos protetores, reforços estruturais e reparos localizados.

2.3.3 Desenvolvimento planimétrico

A categorização quanto ao desenvolvimento planimétrico reflete a geometria e o alinhamento da estrutura em relação ao terreno e às vias de acesso. De acordo com Debs e Takeya (2009), as pontes podem ser classificadas como retas (ortogonais ou esconsas) ou curvas, dependendo da configuração da sua planta em planta. Ver a figura a seguir. Cada tipo apresenta desafios e considerações específicas de projeto e construção. Pontes retas são geralmente mais simples de projetar e construir, enquanto pontes curvas demandam um entendimento mais profundo das forças envolvidas e exigem soluções estruturais mais complexas para garantir a estabilidade e a integridade da ponte.

Figura 3 – Modelo de pontes retas e curvas.

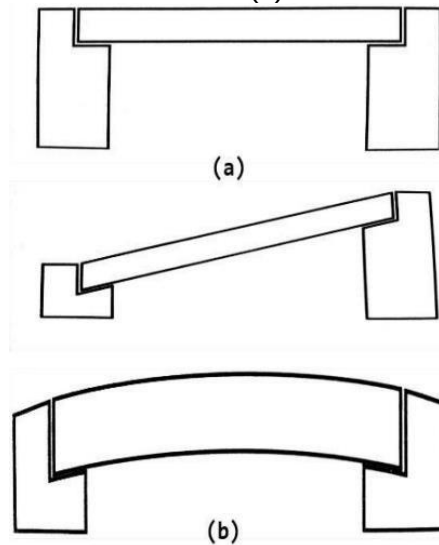


Fonte: Debs e Takeya (2009).

2.3.4 Desenvolvimento altimétrico

O desenvolvimento altimétrico define como a estrutura se adapta às variações de elevação do terreno e das vias de acesso. Segundo Marchetti (2017), as pontes podem ser categorizadas como pontes retas (horizontais ou em rampa) e curvas (tabuleiro convexo ou tabuleiro côncavo) dependendo da maneira como elas se ajustam às mudanças de altura. Cada tipo apresenta desafios específicos de projeto e construção para garantir a estabilidade e a funcionalidade da estrutura. Pontes inclinadas e em declive frequentemente exigem uma análise detalhada das forças envolvidas e soluções engenhosas para distribuir as cargas de maneira uniforme e minimizar os efeitos das variações altimétricas.

Figura 4 – Pontes retas (a). Pontes curvas (b)



Fonte: Marchetti (2017).

2.3.5 Comprimento

A classificação das pontes quanto ao seu comprimento é um fator de grande relevância na engenharia de estruturas, pois define as categorias de acordo com a extensão do vão principal das pontes. De acordo com Debs e Takeya (2009), elas podem ser classificadas como:

Vão até 2 metros – Bueiros

Vão de 2 m a 10 m – Pontilhões

Vão maior do que 10 m – Pontes

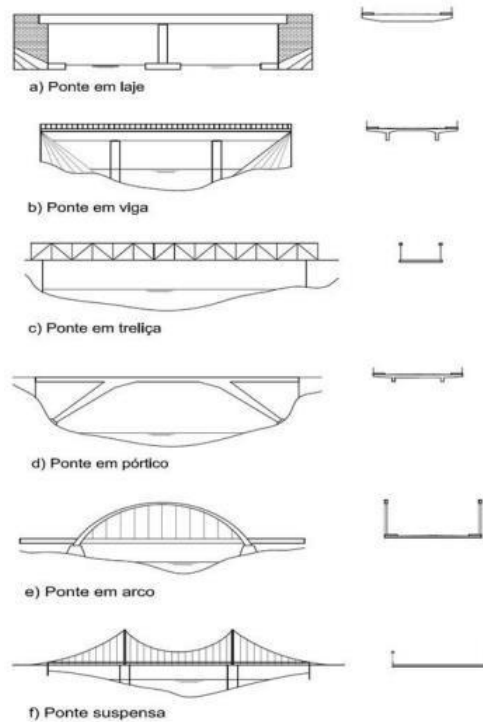
Cada categoria requer uma abordagem de projeto diferenciada, considerando os desafios associados ao dimensionamento estrutural, ao comportamento das cargas e às forças de flexão, torção e cisalhamento que atuam sobre a estrutura em função do seu comprimento. A classificação precisa das pontes com base no seu comprimento auxilia na hora de selecionar os métodos construtivos e os materiais adequados para garantir a segurança, a durabilidade e a eficiência das estruturas ao longo do tempo.

2.3.6 Esquema estrutural da superestrutura

A classificação das pontes quanto ao esquema estrutural da superestrutura é um aspecto fundamental na engenharia civil, pois determina a configuração e a

disposição dos elementos que compõem a parte superior da ponte. Conforme diz Marchetti (2017), as pontes podem ser categorizadas como pontes em viga, laje, arco, treliça, pórtico ou suspensa, com cada tipo apresentando características distintas em relação à distribuição de cargas, capacidade de suporte e resistência. A escolha do esquema estrutural adequado depende de fatores como o vão a ser vencido, o ambiente circundante, os materiais disponíveis e as restrições estéticas. A classificação correta permite que seja selecionada a solução mais eficaz e econômica para cada projeto, levando em conta a estabilidade, a funcionalidade e a estética da ponte.

Figura 5 - Tipos estruturais das pontes



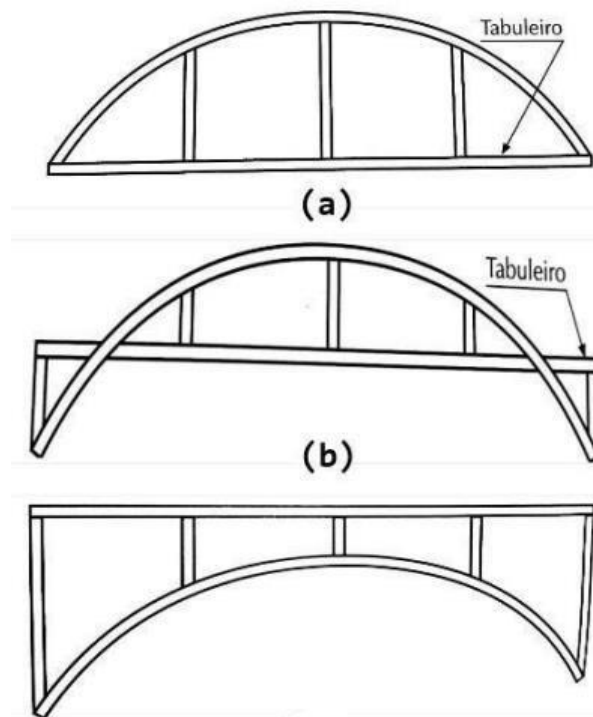
Fonte: Marchetti (2017).

2.3.7 Posição do tabuleiro

De acordo com Debs e Takeya (2019), as pontes podem ser classificadas como pontes com tabuleiro superior, tabuleiro intermediário ou tabuleiro inferior, com cada tipo apresentando características distintas em relação à distribuição de cargas, estabilidade e comportamento dinâmico. A posição do tabuleiro não apenas afeta a funcionalidade e a segurança da ponte, mas também desempenha um papel estético significativo, influenciando a paisagem e a interação com o ambiente circundante. A

classificação adequada permite aos engenheiros selecionar o tipo de ponte mais apropriado para cada contexto, considerando as demandas estruturais, funcionais e visuais do projeto.

Figura 6 - (a) tabuleiro inferior. (b) tabuleiro intermediário. (c) tabuleiro superior



Fonte: Marchetti (2017).

2.4 Ações atuantes nas pontes rodoviárias

No projeto e análise de pontes, é essencial compreender as diversas forças e cargas que atuam sobre essas estruturas para garantir sua estabilidade, segurança e durabilidade ao longo do tempo. Entre essas considerações, destacam-se as ações permanentes, variáveis e excepcionais.

De acordo com a NBR 7187:2003 "Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido", as ações se subdividem em várias categorias distintas, cada uma exercendo influência na análise estrutural das pontes. Estas categorias incluem:

Ações permanentes:

- Cargas provenientes do peso próprio dos elementos estruturais;
- Cargas provenientes do peso da pavimentação, dos trilhos, dos

dormentes, dos lastros, dos revestimentos, das defensas, dos guarda-rodas, dos guarda-corpos e de dispositivos de sinalização;

- Empuxos de terra e de líquidos;
- Forças de protensão;
- Deformações impostas, isto é, aquelas provocadas por fluência e retração do concreto, e por deslocamentos de apoios.

Ações variáveis:

- As cargas móveis (ação gravitacional, força centrífuga choque lateral; efeitos de frenagem e aceleração)
- As cargas de construção;
- A ação do vento;
- O empuxo de terra provocado por cargas móveis;
- A pressão da água em movimento;
- O efeito dinâmico do movimento das águas;
- As variações de temperatura.
- Ações excepcionais:
- Choques de veículos;
- Outras ações excepcionais.

2.4.1 Ações permanentes

As ações permanentes desempenham um papel preponderante no panorama da engenharia de pontes, permeando todos os aspectos do projeto, análise e manutenção dessas estruturas cruciais para a infraestrutura moderna. Em essência, essas ações referem-se às cargas de natureza estática e duradoura que exercem uma influência constante sobre a ponte ao longo do seu ciclo de vida. De acordo com Pfeil (1979), a ação mais proeminente e inerente é, sem dúvida, o peso próprio dos elementos estruturais que compõem a ponte, como o concreto e o aço utilizados em suas diversas partes. Essa carga estática gera uma gama complexa de forças que atuam dentro da estrutura, incluindo compressão, tração e momentos de flexão, que moldam a maneira como a ponte resiste e distribui as cargas, bem como sua capacidade de suporte global.

Entretanto, como relata Debs e Takeya (2009), a gama de influências das ações permanentes vai além do peso próprio. O conceito abrange outros componentes fixos presentes na ponte, como os guarda-corpos, os guarda-rodas e os dispositivos de sinalização, cujo dimensionamento correto é crucial para garantir tanto a segurança dos usuários da ponte quanto a integridade geral da estrutura. A análise minuciosa e considerada das ações permanentes levando em conta as cargas de longo prazo que a ponte irá suportar, evitando deformações excessivas, fadiga prematura e possíveis colapsos em cenários de uso real.

Assim, a compreensão profunda e abrangente das ações permanentes emerge como um fundamento central no processo de projetar pontes robustas e confiáveis. Ao calcular as cargas permanentes com precisão e ponderar cada componente estático e fixo, é possível ter a capacidade de construir pontes que atendam aos padrões de segurança, durabilidade e funcionalidade exigidos, oferecendo uma infraestrutura resiliente e de alto desempenho para a sociedade. Portanto, a consideração cuidadosa das ações permanentes desenha o alicerce sobre o qual se edificam as pontes que conectam comunidades e impulsionam o progresso.

2.4.2 Ações variáveis

As ações variáveis constituem um conjunto diversificado de forças que atuam de forma transitória e flutuante sobre as pontes, sendo essenciais para o projeto, análise e garantia de segurança dessas estruturas. De acordo com Pinho e Bellei (2007), uma das categorias mais influentes de ações variáveis é o tráfego de veículos, que impõe cargas dinâmicas à ponte conforme diferentes tipos de veículos transitam sobre ela. Essas cargas variam com o peso, a velocidade e a distribuição dos veículos, desafiando a resistência da ponte e influenciando sua resposta estrutural.

Além disso, Pinho e Bellei (2007), ainda informam que além do tráfego de veículos, outras ações variáveis incluem cargas móveis como pedestres, ciclistas e até mesmo animais. A ação do vento também é um fator importante, exercendo pressões variáveis na superfície da ponte, podendo gerar vibrações indesejadas. As variações climáticas, como chuvas intensas e acumulação de neve, podem resultar em cargas transitórias que impactam diretamente a capacidade de suporte da ponte. Tais fatores são ainda mais críticos em áreas de risco sísmico, onde terremotos

podem induzir cargas variáveis significativas na estrutura.

Consequentemente, o entendimento detalhado das ações variáveis é vital para projetar pontes robustas e confiáveis que possam suportar as demandas dinâmicas impostas pelo ambiente e pelo uso. A análise precisa dessas cargas transitórias é o que permite dimensionar os elementos estruturais de forma adequada, evitando ressonâncias prejudiciais, fadiga e deformações excessivas. Compreender como as ações variáveis interagem com a estrutura e adaptar o projeto para atender a essas complexas solicitações dinâmicas é essencial para garantir a segurança e a durabilidade das pontes, contribuindo para a integridade e a confiança na infraestrutura de transporte.

2.5 Falhas no processo produtivo

No cenário da engenharia civil, as falhas no processo produtivo de pontes de concreto armado surgem como um desafio complexo e crítico que pode comprometer a qualidade, a durabilidade e a segurança dessas estruturas vitais para a infraestrutura. O processo produtivo abrange desde o planejamento e projeto até a construção e manutenção das pontes, sendo suscetível a uma série de variáveis que podem levar a falhas estruturais e funcionais. A compreensão das causas subjacentes a essas falhas é essencial para adotar medidas preventivas e corretivas, garantindo que as pontes de concreto armado atendam aos mais altos padrões de desempenho e confiabilidade.

O processo produtivo de pontes de concreto armado é caracterizado pela interdependência de diversos elementos, desde a escolha dos materiais até a execução das etapas construtivas. A seleção inadequada de materiais, como concreto de baixa qualidade ou armaduras com propriedades insuficientes, pode resultar em deficiências na resistência mecânica e durabilidade. O projeto estrutural, por sua vez, deve considerar as condições de carregamento, a geometria da ponte e a adequada distribuição de cargas para evitar concentrações de tensões e falhas prematuras. A execução dos procedimentos construtivos, incluindo o controle de cura e a conformidade com normas técnicas, é vital para evitar falhas decorrentes de imperfeições de construção. A análise abrangente das interfaces entre esses elementos é essencial para entender as origens das falhas e desenvolver estratégias

eficazes de prevenção e correção.

2.5.1 Falhas na concretagem

As falhas na concretagem de pontes representam um aspecto crítico no âmbito da engenharia civil, uma vez que o processo de concretagem é uma etapa fundamental na construção de estruturas de concreto armado. A concretagem envolve a deposição, adensamento e cura do concreto fresco, desempenhando um papel crucial na formação da matriz estrutural e nas propriedades finais da ponte. A ocorrência de falhas durante a concretagem pode resultar em deficiências estruturais, como segregação, vazios, fissuras e redução da resistência mecânica, afetando a integridade e o desempenho da estrutura.

Para Vasconcelos (2018), elas podem ser atribuídas a uma série de fatores relacionados aos materiais e procedimentos empregados. A escolha inadequada dos agregados, por exemplo, pode resultar em segregação e excesso de vazios, comprometendo a compacidade do concreto. A falta de controle adequado da relação água/cimento pode levar a uma mistura muito líquida ou seca, influenciando a trabalhabilidade e a resistência do concreto. A má execução dos procedimentos de adensamento, como a vibração insuficiente ou excessiva, pode resultar em inclusões de ar e zonas de baixa densidade na matriz concreta.

As falhas podem ter implicações significativas na durabilidade e resistência das pontes. Segundo Bauer (1994), a segregação e a presença de vazios reduzem a resistência à compressão e podem expor a estrutura a agentes agressivos, como cloretos e sulfatos, acelerando a corrosão das armaduras. As inclusões de ar resultantes de uma compactação inadequada diminuem a resistência à compressão e aumentam a permeabilidade do concreto, afetando sua capacidade de proteção das armaduras contra agentes corrosivos.

Figura 7 – Falha de concretagem



Fonte: Fundatec (1991).

Para prevenir e controlar falhas na concretagem de pontes, é imperativo adotar uma abordagem holística que englobe a seleção de materiais adequados, a execução precisa dos procedimentos de mistura, adensamento e cura, e a conformidade com as normas técnicas pertinentes. Para Laner (2001), a adoção de aditivos superplastificantes e incorporadores de ar pode melhorar a trabalhabilidade e a resistência do concreto, minimizando o risco de falhas. A utilização de técnicas de adensamento apropriadas, juntamente com um controle rigoroso da relação água/cimento, é essencial para garantir uma distribuição homogênea dos agregados e evitar segregações. O emprego de testes de controle de qualidade, como o ensaio de abatimento e a moldagem de corpos de prova, permite monitorar a consistência e resistência do concreto, assegurando a concretagem bem-sucedida e a qualidade final da ponte.

2.5.2 Falhas em juntas de dilatação

A análise das falhas nas juntas de dilatação de pontes é um tema de relevância crucial na engenharia civil, visto que esses elementos desempenham um papel fundamental na acomodação das variações térmicas e movimentos estruturais das pontes. As juntas de dilatação permitem a expansão e contração do tabuleiro da ponte devido às variações de temperatura, impedindo o acúmulo de tensões excessivas que podem resultar em fissuras e deformações prejudiciais à integridade da estrutura.

As causas subjacentes às falhas nas juntas de dilatação são frequentemente atribuídas a aspectos relacionados aos materiais empregados e ao projeto inadequado. Para Bauer (2008), a seleção inadequada dos materiais para a junta, incluindo vedantes e perfis de borracha, pode levar à degradação prematura sob ação de intempéries, radiação ultravioleta e exposição química. Além disso, um projeto deficiente que não considera a amplitude dos movimentos esperados, variações de temperatura e rigidez dos materiais pode resultar em tensões excessivas nas juntas, levando a rupturas e deterioração ao longo do tempo.

De acordo com Vasconcelos (2018), as falhas nas juntas de dilatação podem ter impactos significativos na durabilidade e manutenção das pontes. A incapacidade das juntas em acomodar os movimentos de expansão e contração pode levar à concentração de tensões em outras partes da estrutura, resultando em fissuras, trincas e deformações. Isso não apenas compromete a integridade estrutural, mas também acelera o processo de deterioração devido à penetração de agentes agressivos, como água e cloretos. A manutenção inadequada ou a substituição deficiente das juntas podem agravar esses problemas, aumentando os custos operacionais e de reabilitação.

A prevenção de falhas nas juntas de dilatação exige uma abordagem holística que compreenda a seleção de materiais resistentes às condições ambientais e à exposição química. A concepção de juntas de dilatação deve ser pautada em análises estruturais e simulações de movimentos para garantir a acomodação adequada das variações térmicas e de carga. A implementação de sistemas de drenagem eficazes é essencial para evitar o acúmulo de água e minimizar a degradação dos materiais. A adoção de planos de inspeção e manutenção regular, incluindo a substituição oportuna das juntas quando necessário, é fundamental para assegurar a longevidade e desempenho duradouro das juntas de dilatação nas pontes.

2.5.3 Falhas em instalações de drenagem

A análise das falhas em instalações de drenagem de pontes é uma vertente crucial na engenharia civil, uma vez que sistemas eficazes de drenagem desempenham um papel fundamental na preservação da integridade estrutural e durabilidade das pontes. Os sistemas de drenagem são projetados para coletar,

conduzir e controlar o escoamento de água superficial e subterrânea, evitando o acúmulo de umidade que pode levar a processos de corrosão, erosão e degradação dos materiais.

As causas subjacentes às falhas em instalações de drenagem de pontes podem ser atribuídas tanto ao projeto inadequado quanto à falta de manutenção. Laner (2001), afirma, que o projeto deficiente, que não considera corretamente as características hidrológicas da região, a intensidade de precipitação e o volume de escoamento, pode resultar em sistemas subdimensionados ou ineficazes. Além disso, a falta de manutenção regular, incluindo limpeza de bueiros e canaletas, inspeções de obstruções e substituição de elementos desgastados, pode comprometer a funcionalidade do sistema de drenagem, levando ao acúmulo de água e potencialmente causando danos estruturais.

Ainda segundo ele, as falhas em instalações de drenagem de pontes podem ter sérios impactos na degradação estrutural e na segurança das estruturas. A acumulação de água em pontos críticos, como juntas de dilatação, apoios e regiões próximas às armaduras, pode acelerar a corrosão das armaduras, diminuir a resistência do concreto e comprometer a capacidade portante da ponte. Além disso, a erosão do solo ao redor das fundações pode causar afundamentos e deslocamentos, levando a desalinhamentos estruturais. A presença de água retida nos elementos de drenagem também pode levar à formação de gelo durante períodos frios, amplificando os danos por expansão do congelamento. Portanto, a adoção de práticas de projeto bem elaboradas e manutenção rigorosa é imperativa para assegurar o funcionamento adequado das instalações de drenagem e a integridade global das pontes.

2.5.4 Falhas em encontros de obras-de-arte

Os encontros constituem os elementos que estabelecem a conexão entre as superestruturas das obras de arte e suas vias de acesso. Esses componentes estão suscetíveis às falhas mencionadas previamente em relação aos materiais, além de possíveis defeitos estruturais ou de fundação, conforme ilustrado na Figura 2.5. De acordo com as diretrizes do manual do DNER (1980), a seguir são elencadas as falhas mais frequentes identificadas:

Recalques diferenciais ou processos erosivos têm a capacidade de induzir falhas no alinhamento ou originar fissuras nos encontros;

- A prática de dimensionamento dos encontros apenas com consideração para o empuxo do solo, desconsiderando a pressão exercida pela água de drenagem;
- Em situações em que ocorra o bloqueio dos drenos, as forças horizontais que incidem sobre a parede são incrementadas pelo efeito da pressão hidrostática da água, resultando em uma sobrecarga adicional sobre a estrutura.

2.6 Patologias e manifestações patológicas em pontes de concreto armado

De acordo com Souza e Ripper (1998), patologias em pontes de concreto armado referem-se a defeitos, deteriorações e anomalias que afetam a qualidade e a durabilidade das estruturas. Essas patologias podem variar desde fissuras superficiais e deslocamento do concreto até corrosão das armaduras internas. Fatores ambientais como umidade, exposição a agentes químicos e variações de temperatura desempenham um papel fundamental na aceleração desses processos patológicos. Além disso, cargas de tráfego, vibrações e movimentos sísmicos podem exacerbar o desenvolvimento de tais problemas, comprometendo a estabilidade da ponte ao longo do tempo.

A detecção precoce e a avaliação precisa de patologias são essenciais para implementar medidas de reparo e reabilitação antes que os problemas se agravem. Entretanto, conforme explica Helene (2005) no caso da necessidade de ações corretivas adicionais durante a execução da obra, equivale a um custo cinco vezes maior do que uma medida planejada na etapa de projeto. Se, ao longo do período de uso e manutenção da estrutura, se tornar necessário adotar uma medida preventiva, esse custo aumenta para 25. Vale ressaltar que esse montante ainda é considerado relativamente baixo em comparação com os custos associados ao reparo de uma estrutura comprometida por problemas visíveis. Nesses casos, o custo de reparo pode ser até 125 vezes superior ao que teria sido gasto se uma medida preventiva tivesse sido tomada durante a fase de projeto.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a origem da perda da função estrutural abrange uma ampla gama de fatores, que vão desde tempo de construção da obra de

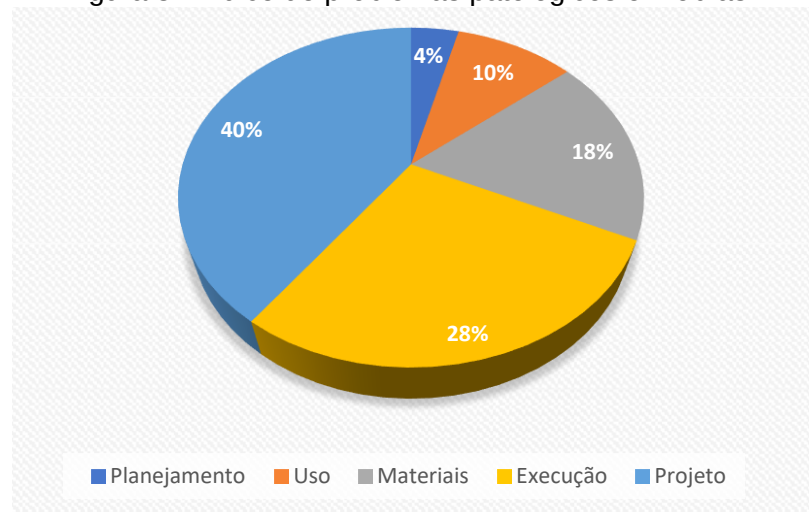
arte, até eventos acidentais, incluindo possíveis erros na hora da execução da obra. Conforme os autores apontam, de maneira abrangente, a análise das patologias estruturais envolve a investigação das suas origens, das formas de manifestação, das potenciais consequências e dos mecanismos subjacentes que levam a falhas e sistemas de degradação das estruturas.

Tecnologias avançadas, como inspeções visuais, ultrassom, termografia e monitoramento contínuo, têm sido empregadas para identificar e avaliar manifestações patológicas em pontes. Ainda de acordo com Helene (2005), a escolha das técnicas de reparo dependerá da natureza e da gravidade das patologias encontradas, buscando restabelecer a capacidade estrutural e prolongar a vida útil da ponte.

Conforme Fusco (2012) explica, a obtenção de uma durabilidade satisfatória do concreto nas estruturas está diretamente ligada à utilização de materiais que não se expandam durante sua fabricação, assim como à capacidade do material de resistir aos efeitos adversos provenientes do ambiente externo. Tais efeitos adversos abrangem mecanismos de agressão de natureza variada, incluindo fatores físicos e químicos.

Já Helene (2005) destaca que as questões patológicas frequentemente exibem sinais característicos que indicam a natureza, a origem e as possíveis consequências dos problemas. Além das manifestações patológicas, também é possível se referir a esses fenômenos como lesões, danos ou defeitos estruturais. Esses elementos podem ser descritos e categorizados de maneira apropriada para facilitar a elaboração de um diagnóstico preliminar, especialmente por meio de inspeções visuais bem fundamentadas. Ele apresenta uma representação gráfica das principais causas das questões patológicas da seguinte forma:

Figura 8 - Índice de problemas patológicos em obras



Fonte: Adaptado de Helene (2005).

Em suma, a compreensão das patologias e manifestações patológicas em pontes de concreto armado é crucial para garantir a segurança e a funcionalidade contínuas dessas infraestruturas vitais. A pesquisa contínua e a aplicação de métodos de manutenção adequados são fundamentais para preservar a integridade das pontes e garantir a conectividade confiável em nossa rede de transporte.

2.6.1 Ninhos de concretagem

Os processos de concretagem desempenham um papel crucial na obtenção de estruturas de concreto duráveis e com bom desempenho mecânico. No entanto, a ocorrência de imperfeições conhecidas como ninhos de concretagem pode afetar significativamente a qualidade e a integridade dessas estruturas. Segundo Souza e Ripper (1998), estas são regiões onde não ocorre uma mistura adequada entre o concreto fresco e o já endurecido, resultando em interfaces de fraca aderência entre as camadas.

De acordo com Bauer (2008), os ninhos de concretagem podem surgir devido a diversos fatores, como a viscosidade do concreto, o método de colocação, as técnicas de vibração e os tempos de espera entre as camadas. A falta de adequada compactação e vibração pode levar à segregação dos agregados, criando espaços onde o concreto novo não se integra perfeitamente ao já endurecido. Além disso, a presença de armaduras ou obstáculos pode dificultar a distribuição homogênea do concreto fresco.

Ainda de acordo com Bauer (2008), a presença de ninhos de concretagem compromete a coesão interna da estrutura, reduzindo sua resistência mecânica e aumentando a probabilidade de fissuração. Essas regiões enfraquecidas também podem servir como pontos preferenciais para a penetração de agentes agressivos, como umidade e substâncias químicas, levando à corrosão das armaduras e à degradação do concreto. O resultado é a redução da vida útil da estrutura e potencial risco à segurança.

Para minimizar a ocorrência de ninhos de concretagem, é essencial adotar práticas construtivas adequadas. Isso inclui o uso de concretos com adequada trabalhabilidade, estratégias de vibração eficientes para promover a completa homogeneização e a coordenação precisa entre as equipes envolvidas na concretagem. O monitoramento durante o processo de colocação também é fundamental para identificar e corrigir eventuais problemas de forma imediata.

Tratar eficazmente os ninhos de concretagem é um desafio crucial na engenharia civil. De acordo com Cánovas (1988), uma das abordagens para resolver esse problema é a utilização de técnicas de injeção de concreto. Essa técnica envolve a introdução controlada de concreto fresco ou argamassa em áreas comprometidas, preenchendo os vazios e melhorando a coesão estrutural. No entanto, a seleção precisa da técnica de injeção e dos materiais apropriados é fundamental para garantir uma aderência confiável entre as camadas e restaurar a resistência mecânica da estrutura afetada.

Ainda segundo Cánovas (1988), outra estratégia de tratamento de ninhos de concretagem envolve a remoção e substituição das áreas afetadas. Esse método é particularmente eficaz quando os ninhos são de pequeno porte e localizados em regiões não essenciais para a integridade estrutural. A remoção cuidadosa do concreto comprometido e a subsequente recolocação de concreto fresco, seguidas de um adequado processo de cura, podem restaurar a homogeneidade e a resistência da estrutura. No entanto, é fundamental assegurar uma aderência perfeita entre as camadas para evitar problemas futuros. A escolha da técnica de tratamento dependerá da extensão dos ninhos de concretagem, da localização na estrutura e das condições específicas do projeto.

O estudo dos ninhos de concretagem é de extrema importância para a engenharia civil, visto que a qualidade das estruturas de concreto está

intrinsecamente relacionada aos processos de concretagem. A compreensão das causas, efeitos e estratégias de mitigação dessas imperfeições permitirá o desenvolvimento de práticas construtivas mais avançadas e eficazes, visando à obtenção de estruturas duráveis, seguras e com alto desempenho.

2.6.2 Corrosão das armaduras

Conforme explica Helene (1986), a corrosão de armaduras é um fenômeno crítico nas estruturas de concreto armado, resultando em perda de durabilidade e potencial comprometimento da integridade das construções. Neste estudo, exploramos múltiplos fatores que contribuem para a corrosão, incluindo pH, alcalinidade, carbonatação, presença de hidróxido de cálcio, níveis de cloretos e a despassividade do aço. A compreensão desses elementos é essencial para desenvolver estratégias de mitigação eficazes.

O ambiente alcalino do concreto é fundamental para manter a passividade das armaduras. O pH elevado cria uma camada de óxido que protege o aço da corrosão. Entretanto, a carbonatação do concreto, que diminui o pH, pode comprometer essa camada protetora, aumentando a suscetibilidade à corrosão. A presença de hidróxido de cálcio, característico do ambiente alcalino, também contribui para a formação dessa camada passiva.

A penetração de dióxido de carbono no concreto leva à carbonatação, reduzindo o pH e degradando a camada de proteção do aço. Isso resulta em um ambiente favorável à corrosão. Além disso, a entrada de íons cloreto, provenientes de ambientes marinhos ou fontes industriais, pode iniciar a corrosão das armaduras. A presença desses íons quebra a passividade do aço, permitindo reações corrosivas.

A despassividade ocorre quando a camada de óxido que protege o aço é comprometida, expondo o metal à corrosão. Isso pode ocorrer devido à carbonatação, ao ingresso de cloretos ou a um ambiente altamente úmido. A combinação desses fatores leva à perda de aderência entre o concreto e o aço, resultando em fissuras, deslocamentos e enfraquecimento estrutural.

Para mitigar a corrosão de armaduras, é fundamental adotar uma abordagem abrangente. Isso inclui o uso de concreto com baixa permeabilidade, a aplicação de revestimentos protetores para impedir a penetração de agentes agressivos e a

implementação de medidas que minimizem a carbonatação. Além disso, é essencial controlar a exposição a cloretos, por meio de escolhas adequadas de materiais e do monitoramento constante das condições ambientais.

A compreensão dos fatores que contribuem para a corrosão de armaduras é crucial para a engenharia civil. Ao considerar aspectos como pH, alcalinidade, carbonatação, hidróxido de cálcio, cloretos e despassividade do aço, os profissionais podem desenvolver estratégias preventivas e de manutenção que assegurem a durabilidade e a integridade das estruturas de concreto armado, garantindo sua funcionalidade e segurança ao longo do tempo.

2.6.3 Eflorescências

Nas práticas da engenharia civil, as eflorescências emergem como um fenômeno intrincado, caracterizado pela migração e subsequente deposição de sais solúveis nos materiais de construção. Este fenômeno, segundo Cincotto (1997), frequentemente manifestado em forma de manchas esbranquiçadas, encontra suas raízes na interação entre umidade, difusão de íons e processos de evaporação. Além do impacto estético, as eflorescências podem influenciar a durabilidade das estruturas, tornando-se um tópico relevante no contexto da engenharia civil contemporânea.

Ainda de acordo com ele, o processo de eflorescência é intrinsecamente relacionado à hidratação do cimento, durante o qual íons hidroxila (OH^-) são liberados, contribuindo para a formação do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). A presença de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nos materiais de construção, devido à reação química de hidratação do cimento Portland, proporciona um reservatório de íons solúveis. Sob condições de umidade ascendente ou migração capilar, esses íons solúveis, em particular os de cálcio (Ca^{2+}) e hidróxido (OH^-), são transportados em solução aquosa até a superfície dos materiais.

Souza e Ripper (1998), também corrobora, afirmando que o pH desempenha um papel crucial na gênese das eflorescências. O hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento possui natureza alcalina, elevando o pH do sistema. Quando a solução aquosa atinge a superfície dos materiais e a água evapora, ocorre a precipitação dos íons solúveis em forma de sais. A alcalinidade do hidróxido de cálcio

favorece a formação de sais de cálcio, como carbonatos e sulfatos, em um ambiente de pH elevado. Esses sais cristalizados depositam-se na superfície do material, resultando nas características manchas de eflorescência.

Para Helene (1997), as eflorescências podem influenciar a integridade e durabilidade dos materiais de construção. A deposição dos sais solúveis pode obstruir os poros e capilares, reduzindo a permeabilidade dos materiais. Esse bloqueio dos canais de transporte hídrico pode impactar a absorção e redistribuição da umidade, afetando o comportamento higroscópico e mecânico dos materiais. Adicionalmente, a expansão dos sais cristalizados nos poros pode resultar em fissuração e deterioração superficial, agravada por ciclos de umidade e secagem.

Para abordar as eflorescências, Neville (1997), afirma que é vital adotar uma abordagem holística que englobe materiais, design e construção. A seleção de cimentos com baixo teor de compostos alcalinos, a utilização de aditivos redutores de água, a aplicação de revestimentos impermeabilizantes e a atenção à proporção água/cimento são táticas preventivas. Além disso, a manutenção de um equilíbrio de pH durante a hidratação do cimento e a minimização de pontos de entrada de umidade são medidas complementares para mitigar eflorescências indesejadas e preservar a qualidade e a durabilidade das estruturas.

Segundo Helene (1997), o tratamento eficaz das eflorescências em estruturas de concreto armado requer uma abordagem que considere tanto a natureza química desses depósitos quanto a integridade da matriz de concreto. Inicialmente, a identificação da composição dos sais depositados é essencial, uma vez que diferentes tipos de eflorescências podem demandar técnicas distintas de tratamento. O uso de ácidos leves, como o ácido acético ou cítrico, em combinação com enxaguamentos controlados, pode dissolver eflorescências à base de carbonatos, enquanto para eflorescências à base de sulfatos, a aplicação de soluções alcalinas pode ser mais apropriada, neutralizando os íons ácidos. Esse processo de remoção química deve ser conduzido com precaução, a fim de evitar danos à camada superficial do concreto.

Ainda de acordo com ele, após a remoção das eflorescências, a aplicação de barreiras de proteção é fundamental para evitar sua recorrência. A utilização de revestimentos impermeabilizantes à base de silanos ou siloxanos pode reduzir a absorção de água pelo concreto, minimizando a migração de sais solúveis para a superfície. A escolha do revestimento deve ser baseada em características como

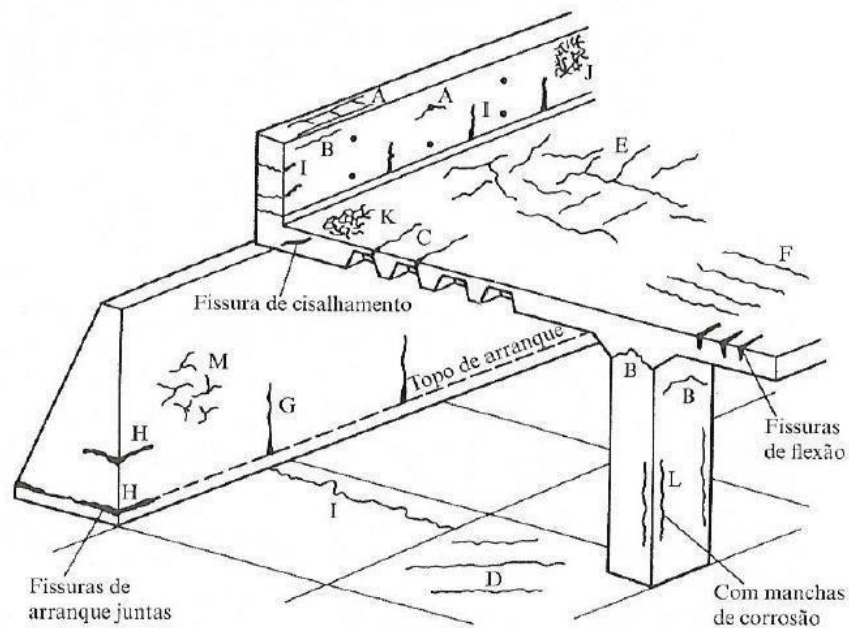
permeabilidade, aderência e durabilidade, alinhadas às especificidades do ambiente em que a estrutura está exposta. Além disso, a adoção de práticas construtivas que reduzam a penetração de umidade no concreto, como a utilização de aditivos hidrofugantes durante a mistura, pode contribuir para a prevenção das eflorescências desde o início. A combinação de tratamento específico e medidas preventivas resulta em estruturas de concreto armado mais resistentes e duráveis, mantendo a integridade estética e funcional ao longo do tempo.

2.6.4 Fissuração

No campo da engenharia civil, as fissuras em estruturas de concreto armado emergem como um fenômeno de alta relevância, resultante da interação complexa entre cargas aplicadas, retração do concreto, variações térmicas e outras influências ambientais. As fissuras podem ter impactos diversos, desde comprometer a durabilidade até afetar a segurança estrutural. A compreensão dos mecanismos de formação de fissuras e o desenvolvimento de estratégias para sua prevenção e controle são essenciais para a garantia da integridade e desempenho das edificações.

Para Laner (2001), as fissuras em concreto armado podem ser atribuídas a diferentes fatores. A retração plástica, decorrente da perda de água pelo concreto durante o processo de endurecimento, gera tensões internas que podem levar à abertura de fissuras. Além disso, a retração térmica, causada por variações na temperatura ambiente, contribui para o desenvolvimento de fissuras. Cargas aplicadas, como cargas permanentes e sobrecargas, também podem induzir tensões que resultam na formação de fissuras em pontos críticos da estrutura.

Figura 9 – Tipos de fissuras



Fonte: Neville (1997).

Neville (1997) afirma que as fissuras em concreto armado podem ser categorizadas com base em sua largura e profundidade, sendo classificadas como microfissuras, fissuras finas, fissuras moderadas e fissuras largas. A extensão e a largura das fissuras são fatores determinantes para a avaliação de sua gravidade. Fissuras estreitas podem ter impactos predominantemente estéticos, enquanto fissuras largas podem afetar a durabilidade e a capacidade portante da estrutura. Fissuras em zonas de armadura podem representar uma preocupação significativa, uma vez que podem acelerar a corrosão das armaduras.

Quadro 1 - Classificação das fissuras

TIPO	SÍMBOLO FIGURA 3.4	SUBDIVISÃO	POSIÇÃO MAIS COMUM	CAUSA PRIMÁRIA	CAUSA SECUNDÁRIA	MEDIDAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS	TEMPO SURGIMENTO
Assentamento plástico	A	Sobre a armadura	Seções Espessas	Exsudação excessiva	Secagem rápida	Revibração ou redução de exsudação	10 minutos a 3 horas
	B	Arqueamento	Topo pilares				
	C	Variação profundidade	Lajes variáveis				
Retração plástica	D	Diagonal	Lajes e pavimentos	Secagem rápida prematura	Exsudação lenta	Melhorar cura inicial	30 minutos a 6 horas
	E	Aleatória	Lajes	Secagem rápida prematura ou armadura próxima da superfície			
	F	Sobre a armadura	Lajes armadas				
Contração térmica prematura	G	Restrição interna	Paredes espessas	Calor excessivo	Resfriamento rápido	Reduzir calor ou isolar	1 dia a 2 ou 3 semanas
	H	Restrição externa	Lajes espessas	Gradiente térmico excessivo			
Retração hidráulica a longo prazo	I		Lajes e paredes delgadas	Juntas inefcazes	Retração excessiva Cura ineficiente	Reduzir água Melhorar cura	Algumas semanas ou meses
Gretamento	J	Junto às fôrmas	Paredes	Fôrmas impermeáveis	Misturas ricas Cura inadequada	Melhorar cura e acabamento	1 a 7 dias às vezes mais tarde
	K	Concreto desempenado	Placas	Acabamento excessivo	Misturas ricas Cura inadequada		
Corrosão da armadura	L	Carbonatação	Colunas e vigas	Cobrimento inadequado	Concreto de baixa qualidade	Eliminar causas inadequadas	Mais de 2 anos
		Cloretos					
Reação álcali- agregado	M		Locais úmidos	Agregado reativo e cimento com alto teor de álcalis		Eliminar causas inadequadas	Mais de 5 anos
Bolhas	N		Lajes	Água de exsudação aprisionada	Usar desempenadeira metálica	Eliminar causas relacionadas	Ao toque
Fissuração	P		Bordas de placas		Agregado danificado por congelamento	Reduzir tamanho do agregado	Mais de 10 anos

Fonte: Neville (1997).

A prevenção e o controle das fissuras em concreto armado envolvem uma combinação de práticas construtivas e uso de materiais apropriados. Para Dal Molin (1988), a utilização de aditivos expansores e redutores de retração, juntamente com cura adequada, visa mitigar as tensões internas geradas pela retração do concreto. A inserção de armaduras adequadas e o projeto estrutural adequado também são fundamentais para garantir que as tensões sejam distribuídas de forma eficaz. Além disso, a implementação de juntas de dilatação e dispositivos de contenção pode minimizar o desenvolvimento de fissuras induzidas por retração térmica e cargas aplicadas.

Ainda segundo ele, o monitoramento regular de fissuras em estruturas de concreto armado é crucial para identificar alterações ao longo do tempo e adotar medidas corretivas quando necessário. Em casos em que fissuras representam riscos à integridade estrutural, técnicas de reparo, como injeção de resinas epóxi ou poliuretano, podem ser empregadas para preencher as fissuras e restaurar a continuidade da estrutura. O reparo adequado não apenas restabelece a capacidade

portante, mas também protege contra a penetração de agentes agressivos, como água e cloretos, que poderiam acelerar a corrosão das armaduras e agravar os danos estruturais.

De acordo com o IPR 744 (2010), o tratamento de fissuras em estruturas de concreto armado tem evoluído com a incorporação de técnicas avançadas que visam abordar tanto os aspectos estruturais quanto a durabilidade do material. A utilização de polímeros reforçados com fibras (FRP) tem ganhado destaque como método de tratamento. Esses materiais compostos oferecem alta resistência à tração e capacidade de confinamento, permitindo o reforço das regiões fissuradas e restaurando a capacidade portante da estrutura. A aplicação controlada de resinas epóxi de alta penetração também se destaca como uma abordagem eficaz, preenchendo e vedando as fissuras, ao mesmo tempo em que melhora a resistência à corrosão das armaduras.

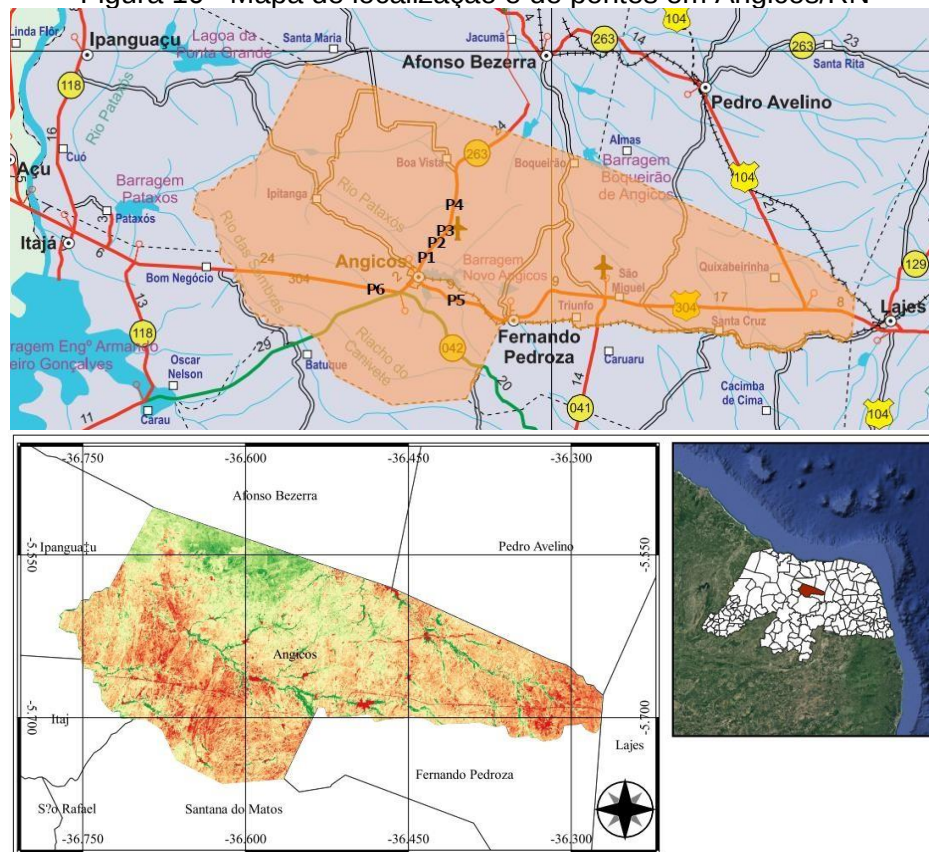
A abordagem contemporânea para o tratamento de fissuras em concreto armado envolve uma análise multifacetada que combina técnicas de reforço estrutural com modelagem computacional avançada. A implementação de sensores de monitoramento, como extensômetros de fibra óptica, permite a coleta de dados em tempo real sobre a resposta estrutural e o comportamento das fissuras em diferentes condições de carga e temperatura. Esses dados, aliados à modelagem numérica, permitem avaliar o desempenho estrutural pós-tratamento e otimizar as estratégias adotadas. A integração dessas tecnologias representa um avanço significativo no tratamento de fissuras, oferecendo soluções que são eficazes, duráveis e baseadas em análises científicas sólidas.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso de caráter descritivo com abordagem qualitativa e quantitativa. Conforme Roesch (2010) afirmou, certos elementos delineiam o estudo de caso como uma abordagem de investigação: viabiliza a análise aprofundada de fenômenos no âmbito de seu contexto; demonstra aptidão notável para examinar processos e investigar fenômenos sob diversos prismas.

As pontes selecionadas para compor o escopo deste trabalho estão estrategicamente situadas dentro dos limites geográficos do município de Angicos, no estado do Rio Grande do Norte. Essa delimitação geográfica foi estabelecida com o propósito de concentrar a análise em pontes que integram diretamente a infraestrutura local e são relevantes para o contexto específico dessa região. Ao restringir o foco às pontes em Angicos, o estudo visa oferecer uma compreensão detalhada das características, desafios e necessidades associadas a essas estruturas dentro do cenário municipal.

Figura 10 - Mapa de localização e de pontes em Angicos/RN



Fonte: O Autor (2023).

A abordagem foi de natureza híbrida, combinando abordagens qualitativas e

quantitativas. Essa abordagem integrada permitiu uma análise abrangente e profunda do tema, envolvendo a compreensão das características estruturais das pontes (aspectos quantitativos) e também explorando a percepção dos usuários sobre a segurança e a eficácia das estruturas (elementos qualitativos). Dessa forma, a pesquisa foi capaz de oferecer uma visão mais completa e embasada sobre a temática das pontes, considerando tanto os aspectos numéricos quanto as perspectivas humanas envolvidas.

Como fontes de pesquisa, foram utilizados trabalhos completos publicados em língua portuguesa, os quais estão disponíveis no Google Acadêmico e no Scientific Electronic Library Online (SciELO). Essa seleção criteriosa de fontes permitiu acesso a um conjunto diversificado de estudos e artigos que abordam de maneira aprofundada a temática em questão. A utilização dessas plataformas renomadas garantiu a qualidade e a confiabilidade das fontes consultadas, contribuindo para a robustez e a abrangência das informações consideradas neste estudo.

Para nortear o processo de busca e seleção das fontes, foram adotadas as seguintes palavras-chave como parâmetros de pesquisa: "Manifestações patológicas", "Estado de conservação" e "Manutenção de pontes". Esses termos foram escolhidos devido à sua relevância direta para o escopo do estudo, visando identificar trabalhos que explorassem aspectos ligados a problemas estruturais, a avaliação do estado das pontes e às práticas de manutenção. A aplicação dessas palavras-chave proporcionou uma base sólida para a localização de estudos pertinentes e enriqueceu a compreensão dos diferentes aspectos relacionados ao tema das pontes.

4 RESULTADOS

Neste tópico, abordaremos os resultados obtidos a partir da execução do trabalho de pesquisa, apresentando os resultados e descobertas que surgiram da análise das manifestações patológicas nas pontes das rodovias de acesso ao município de Angicos, no Rio Grande do Norte.

4.1 Classificação e características gerais

Os atributos das pontes localizadas na BR-304 estão delineados nas informações apresentadas na tabela subsequente. Esses dados foram obtidos a partir do banco de dados oficial do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por meio de documento oficial. A utilização de fontes institucionais confiáveis reforça a precisão e a legitimidade dos dados coletados, consolidando assim uma base sólida para a análise das características das pontes em questão.

As pontes que se encontram ao longo da RN-263 estão sob a jurisdição do Departamento de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Norte (DER/RN). Apesar dos esforços empreendidos para acessar informações oficiais pertinentes a essas estruturas, lamentavelmente não foi possível obter tais dados. Portanto, o levantamento de informações foi conduzido principalmente por meio de observações in loco, buscando identificar características relevantes e fidedignas que contribuíssem para o entendimento das condições das pontes em análise.

Quadro 2 – Quadro de classificação das obras de arte

CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES							
Obra de arte	Natureza do tráfego	Material da superestrutura	Desenvolvimento planimétrico	Desenvolvimento altimétrico	Comprimento	Esquema estrutural da superestrutura	Posição do tabuleiro
Ponte 1	Rodoviário	Concreto armado	Retas	Retas	Ponte	Viga	Superior
Ponte 2	Rodoviário	Concreto armado	Retas	Retas	Pontilhão	Viga	Superior
Ponte 3	Rodoviário	Concreto armado	Retas	Retas	Pontilhão	Viga	Superior
Ponte 4	Rodoviário	Concreto armado	Retas	Retas	Ponte	Viga	Superior
Ponte 5	Rodoviário	Concreto armado	Retas	Retas	Ponte	Viga	Superior
Ponte 6	Rodoviário	Concreto armado	Retas	Retas	Ponte	Viga	Superior

Fonte: O Autor (2023).

Tabela 1 – Quadro geral das obras de arte. Características gerais

QUADRO GERAL DAS OBRAS DE ARTE						
Obra de arte	Localização	Comprimento (m)	Largura (m)	Nº de vãos	Idade (anos)	Período inspeção (anos)
Ponte 1	RN-263	87	5,5	4	?	?
Ponte 2	RN-263	5	6,3	1	?	?
Ponte 3	RN-263	9	6,3	1	?	?
Ponte 4	RN-263	36	6,3	2	?	?
Ponte 5	BR-304 - km 150,4	16,5	10,1	1	55	2
Ponte 6	BR-304 - km 133,63	90	10,1	5	55	2

Fonte: Adaptado de relatórios do DNIT (2023).

4.2 Percentual de incidência das manifestações patológicas

Neste tópico, será apresentado o percentual de incidência das manifestações patológicas identificadas em diferentes partes das pontes, oferecendo uma visão abrangente da extensão dos problemas encontrados ao longo das estruturas.

4.2.1 Instalações Pluviais

No Gráfico 1 apresenta-se as manifestações patológicas observadas nas instalações pluviais das pontes pesquisadas. Salienta-se que foram estudadas 6 pontes, sendo que em 3 delas, não foram observadas instalações pluviais.

Gráfico 1 – Manifestações patológicas em instalações pluviais



Fonte: O Autor (2023).

Como pode-se observar no Gráfico 1, ocorreram 4 tipos de manifestações, entupimento, sedimentação, rompimento e infiltração. A presença dessas manifestações em uma proporção considerável das pontes que possuem instalações pluviais alerta para a necessidade de manutenção e projetos mais eficazes, visto que essas condições podem resultar em danos estruturais, corrosão das armaduras, redução da capacidade de carga e riscos à segurança viária.

Figura 11 – Manifestações patológicas em instalações pluviais



Fonte: Autor (2023).

Os números levantados encontram respaldo substancial quando contrastados

com os resultados de Laner (2001), onde ele observou que 25% das pontes apresentaram entupimento, 30% sedimentação, e 30% rompimento. As conclusões obtidas em nossos respectivos estudos, apesar de realizados independentemente, apresentam notável concordância no que concerne às pontes que enfrentam desafios ligados às instalações pluviais. A congruência de nossas análises realça a importância de estratégias efetivas que abordem de maneira adequada essas questões, preservando assim a funcionalidade e longevidade das pontes.

4.2.2 Instalações diversas

No Gráfico 2, é exibida a representação percentual da frequência das manifestações patológicas em instalações diversas. Essa análise foi conduzida nas mesmas estruturas previamente mencionadas, para tanto, encontradas as três manifestações que seguem.



Fonte: Autor (2023)

O gráfico 2 expõe uma situação alarmante, evidenciando que todas as pontes examinadas exibem manifestações patológicas nos guarda-rodas. Essa constatação ressalta uma questão crítica de qualidade na concepção e execução dessas estruturas.

Figura 12 – Manifestações patológicas em instalações diversas



Fonte: Autor (2023).

Além disso, o fato de que metade das pontes examinadas apresenta problemas na drenagem, bem como 33,33% manifestam deficiências nos passeios, amplia ainda mais o panorama desafiador.

Laner (2001), encontra números mais alarmantes, chegando a constatar que 50% das pontes analisadas apresentam problemas no passeio. Entretanto, seu levantamento mostra um baixo número de incidência de manifestações em relação à drenagem, e nenhuma manifestação em relação aos guarda-rodas.

4.2.3 Guarda-corpos

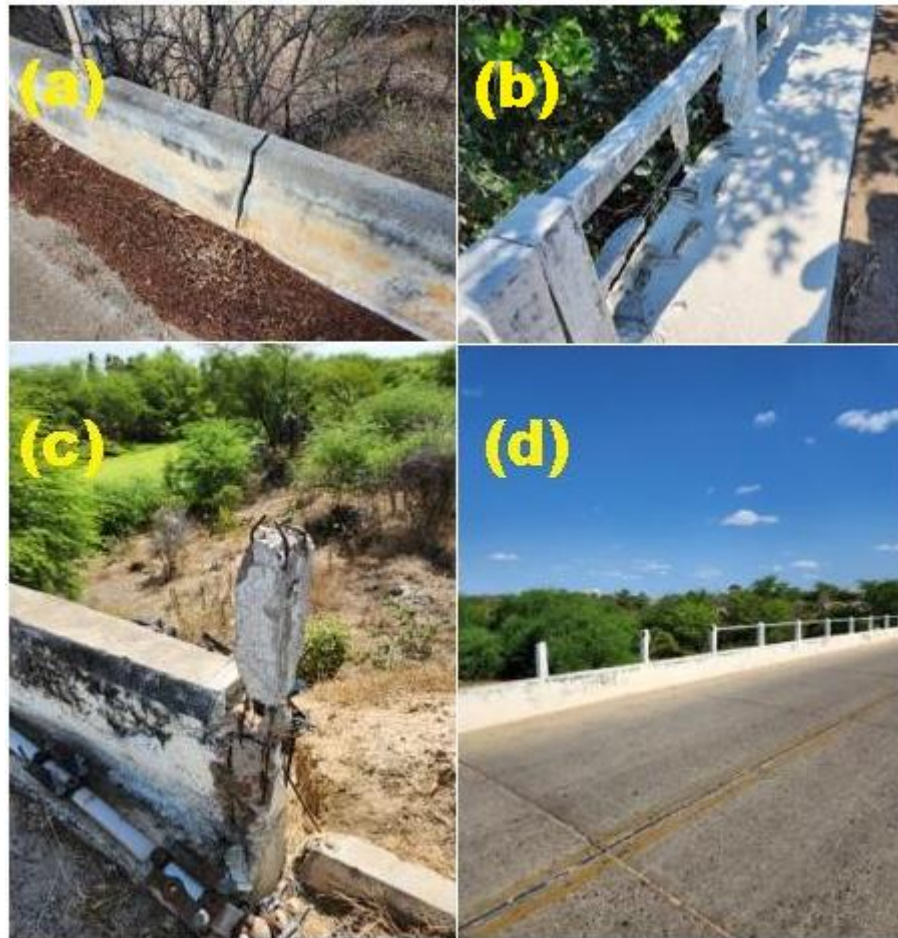
O Gráfico 3 representa o percentual de ocorrência de manifestações patológicas em relação aos guarda-corpos. Nessa ilustração, é possível visualizar de maneira gráfica a distribuição das diferentes anomalias observadas nos guarda-corpos das estruturas analisadas. Cabe salientar, que 2 das 6 pontes analisadas, sequer dispunham de guarda-corpos.



Fonte: Autor (2023)

A ausência de guarda-corpos expõe os usuários a riscos significativos, aumentando a possibilidade de quedas e acidentes, o que pode resultar em consequências graves tanto para a integridade física quanto para a confiança na infraestrutura viária.

Figura 13 – Manifestações patológicas em guarda-corpos

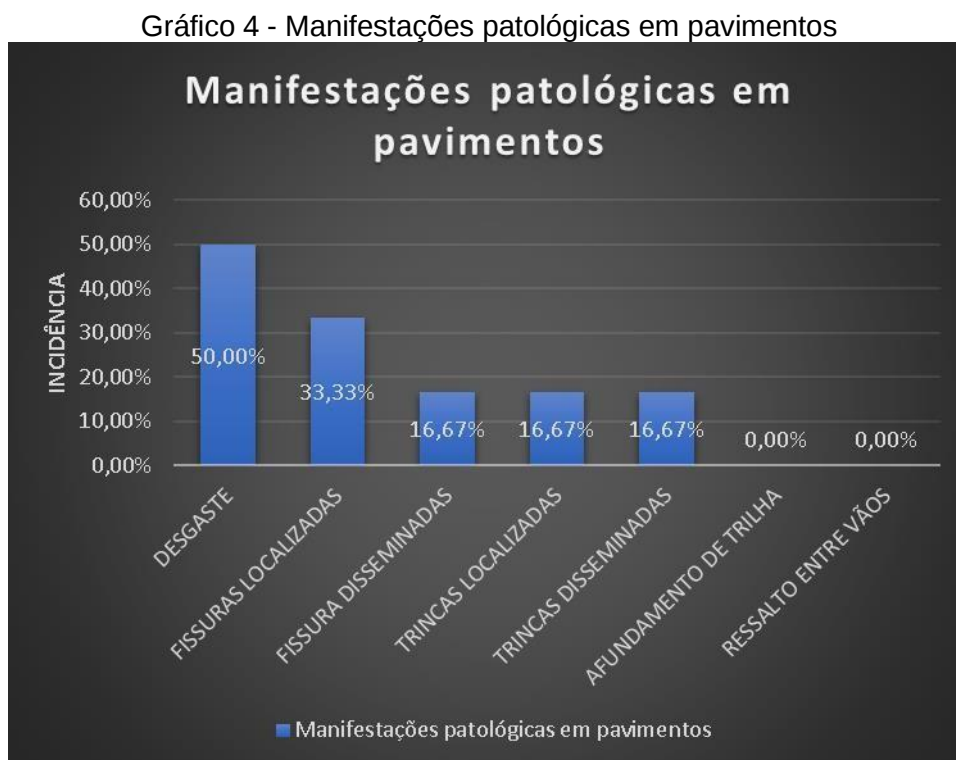


Fonte: Autor (2023).

Além disso, é alarmante observar que, 50% das pontes observadas apresentam fissuração, segregação, corrosão e ruptura. Essas condições não apenas ameaçam a durabilidade das pontes, mas também comprometem a segurança dos usuários e exigem intervenções adequadas para assegurar a integridade estrutural e a tranquilidade das vias. Isto é o que relata também Winkel (2019), onde em 3 de 5 pontes analisadas por ele, apresentam resultados semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

4.2.4 Pavimentos

No Gráfico 4, é apresentado o percentual de obras-de-arte que foram impactadas por manifestações patológicas nos pavimentos. A análise desses dados concentra-se principalmente na avaliação da durabilidade das estruturas.



Fonte: O Autor (2023).

A representação gráfica dos resultados oferece uma perspectiva notável sobre a condição das pontes analisadas, revelando que metade delas exibe sinais evidentes de desgaste no pavimento. Essa observação destaca uma preocupante questão relativa à durabilidade e funcionalidade das estruturas. O desgaste no pavimento pode levar a uma série de implicações negativas, como a redução da aderência dos veículos à superfície, o aumento do risco de acidentes e a degradação da qualidade da experiência de condução. Além disso, a deterioração do pavimento pode expor as camadas internas da estrutura à ação de agentes agressivos, como água e cloretos, contribuindo para a aceleração da corrosão das armaduras e a diminuição da capacidade de carga.

Figura 14 – Manifestações patológicas em pavimentos



Fonte: Autor (2023).

Interessantemente, os outros tipos de manifestações analisadas apresentam incidências baixas, chegando até a zero em alguns casos. Apesar dessa aparente positiva constatação, é essencial reconhecer que a presença de desgaste no pavimento, mesmo que predominante, não pode ser tratada de forma isolada. A ausência de problemas aparentes em outros aspectos não necessariamente indica a inexistência de potenciais riscos estruturais ou deficiências.

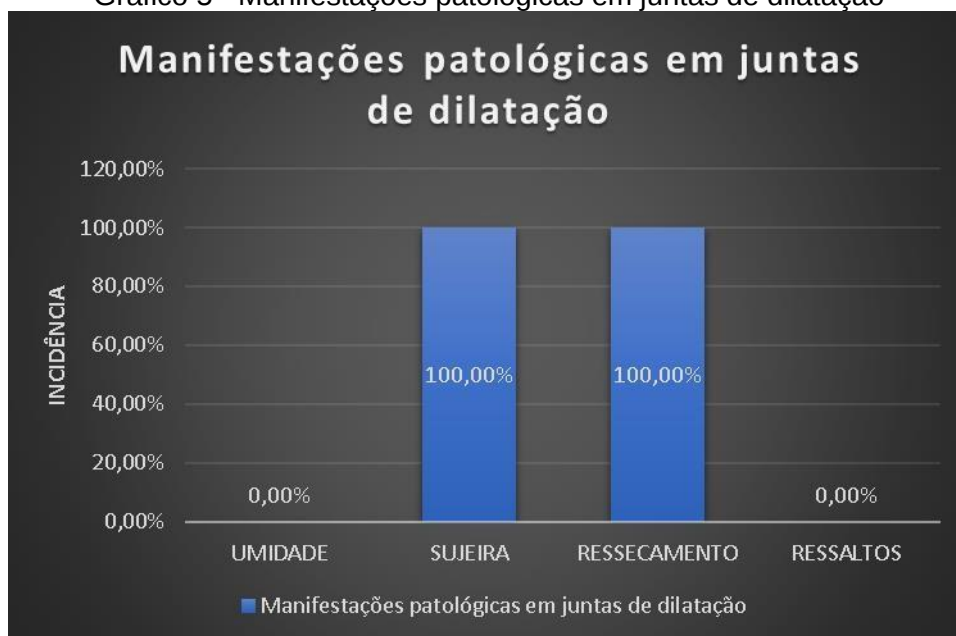
Solano (2019), também encontra pouca incidência de manifestações patológicas no tocante ao pavimento, segundo Ele “Na pista de rolamento, não há

muitas degradação para o padrão da metodologia GDE/UnB. Nela foram encontradas apenas desgaste superficial e desgaste da sinalização” (2019, p. 48).

4.2.5 Juntas de dilatação

Além dos já mencionados, procedeu-se também com a análise das juntas de dilatação, cujas manifestações patológicas serão ilustradas no Gráfico 5. Foram examinadas diversas juntas, e o resultado apresenta-se na forma do percentual de juntas afetadas por problemas patológicos em relação a cada ponte.

Gráfico 5 - Manifestações patológicas em juntas de dilatação



Fonte: Autor (2023).

É preciso iniciar, deixando claro que apenas 2 das 6 pontes analisadas, possuem juntas de dilatação, assim temos uma situação preocupante. Essa observação destaca uma considerável deficiência no projeto e construção dessas estruturas, levando a possíveis consequências adversas.

Figura 15 - Juntas de dilatação sujas e ressecadas



Fonte: Autor (2023).

Adicionalmente, é notório que, dentre as pontes que possuem juntas de dilatação, em todas elas são possível identificar sujeira e ressecamento. Essas condições têm o potencial de amplificar os problemas associados à falta de juntas.

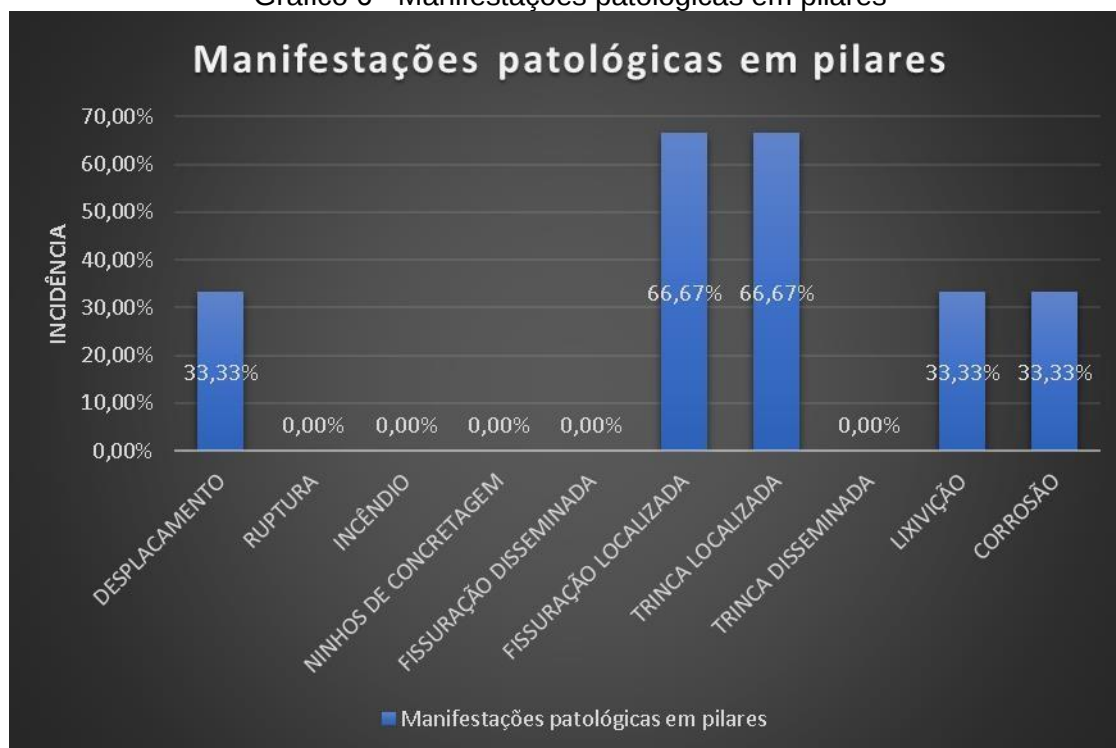
No estudo realizado por Laner (2001), foram observados resultados altamente congruentes com os aspectos mencionados anteriormente em minha resposta, com ele identificando sujeira em 70% das pontes. Em seu trabalho, ele diz “A concentração de resíduos (sujeira), predominante em juntas de passarelas, e com grande incidência nos viadutos e pontes[...]” (Laner, 2001, p. 82).

As constatações dele corroboram a preocupante tendência identificada, ressaltando a relevância desses problemas no âmbito da engenharia civil. A convergência entre as duas análises destaca a persistência dessas problemáticas e a importância de abordagens eficazes para assegurar a qualidade, segurança e durabilidade das estruturas viárias.

4.2.6 Pilares

O Gráfico 6 exibe as manifestações patológicas que afetaram as estruturas dos pilares. A interpretação dos dados relacionados à essas estruturas estão ancoradas nos critérios de durabilidade e segurança. Assim como as juntas de dilatação, nem todas as obras de arte analisadas possuem pilares, apenas 3 delas detém tal estrutura.

Gráfico 6 - Manifestações patológicas em pilares



Fonte: Autor (2023).

A representação gráfica dos resultados revela uma realidade preocupante no contexto das pontes que possuem pilares. Dois terços dessas estruturas exibem fissuras e trincas, uma constatação que aponta para problemas potencialmente sérios

em sua integridade estrutural.

Figura 16 – Desplacamento, corrosão, fissura e lixiviação em pilares



Fonte: Autor (2023).

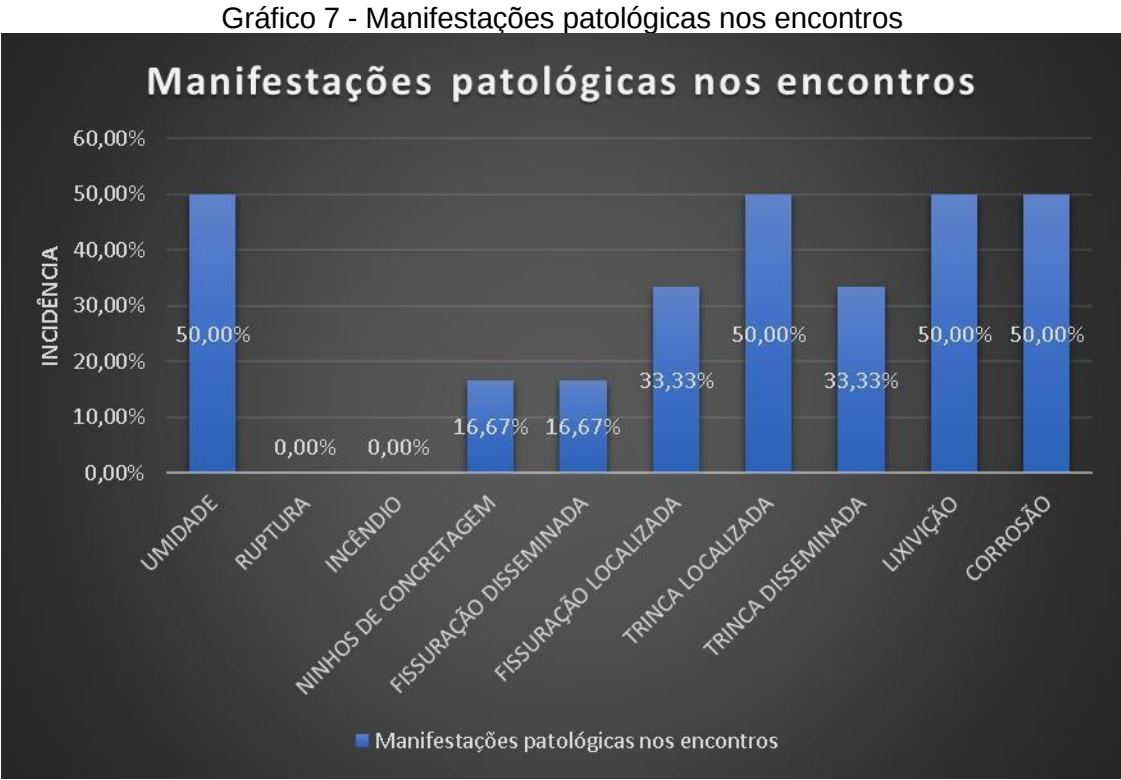
Solano (2019), também aponta problemas que provavelmente iniciaram com fissuras e trinca nos pilares, o que corrobora com os dados encontrados. Ela diz: “As manifestações patológicas mais encontradas nos pilares foram a desagregação, o deslocamento do concreto e a corrosão das armaduras, aparecendo em sete dos nove pilares inspecionados” (Solano, 2019, p. 42).

Adicionalmente, é notável informar, que um terço das pontes que possuem

pilares apresentam lixiviação e deslocamento.

4.2.7 Encontros

No Gráfico 7, são apresentadas as manifestações patológicas que ocorreram nas estruturas do tipo encontro das pontes. A análise contempla a identificação de problemas que afetaram esses elementos, contribuindo para uma compreensão mais abrangente das condições dessas áreas nas pontes.



Fonte: Autor (2023).

A análise gráfica revela uma situação alarmante, na qual diversas manifestações patológicas são identificadas nos encontros das pontes. É particularmente preocupante que metade dessas estruturas apresente trincas, lixiviações e corrosão. Esses problemas têm o potencial de minar significativamente a integridade e a durabilidade das pontes.

Figura 17 – Manifestações patológicas em encontros



Fonte: Autor (2023).

O trabalho de Winkel (2019) corrobora de maneira significativa com as informações apresentadas neste gráfico. Ele diz:

“Na Figura 36 é possível ver pontos onde devido à má vibração do concreto durante a concretagem formam nichos, e esta manifestação patológica, se tornou porta de entrada para a corrosão da armadura, que encontra-se exposta[...]” (Winkel, 2019, p. 47).

“Em ambos os encontros foram identificadas fissuras[...]” (Winkel, 2019, p. 60).

“Os encontros em ambas as sessões possuem pontos de erosão das juntas de assentamento e dos blocos de pedra próximo ao nível da água. Há também pontos de eflorescência e lixiviação devido à retenção de umidade na alvenaria” (Winkel, 2019, p. 65).

Essa congruência entre os resultados do gráfico e as constatações de Winkel destaca a consistência dos desafios identificados e sublinha a importância crítica de abordagens eficazes para a manutenção, reparo e reabilitação das pontes, visando à garantia de sua integridade e segurança.

4.2.8 Vigas

No Gráfico 8, são apresentadas as manifestações patológicas que ocorreram nas vigas das pontes.



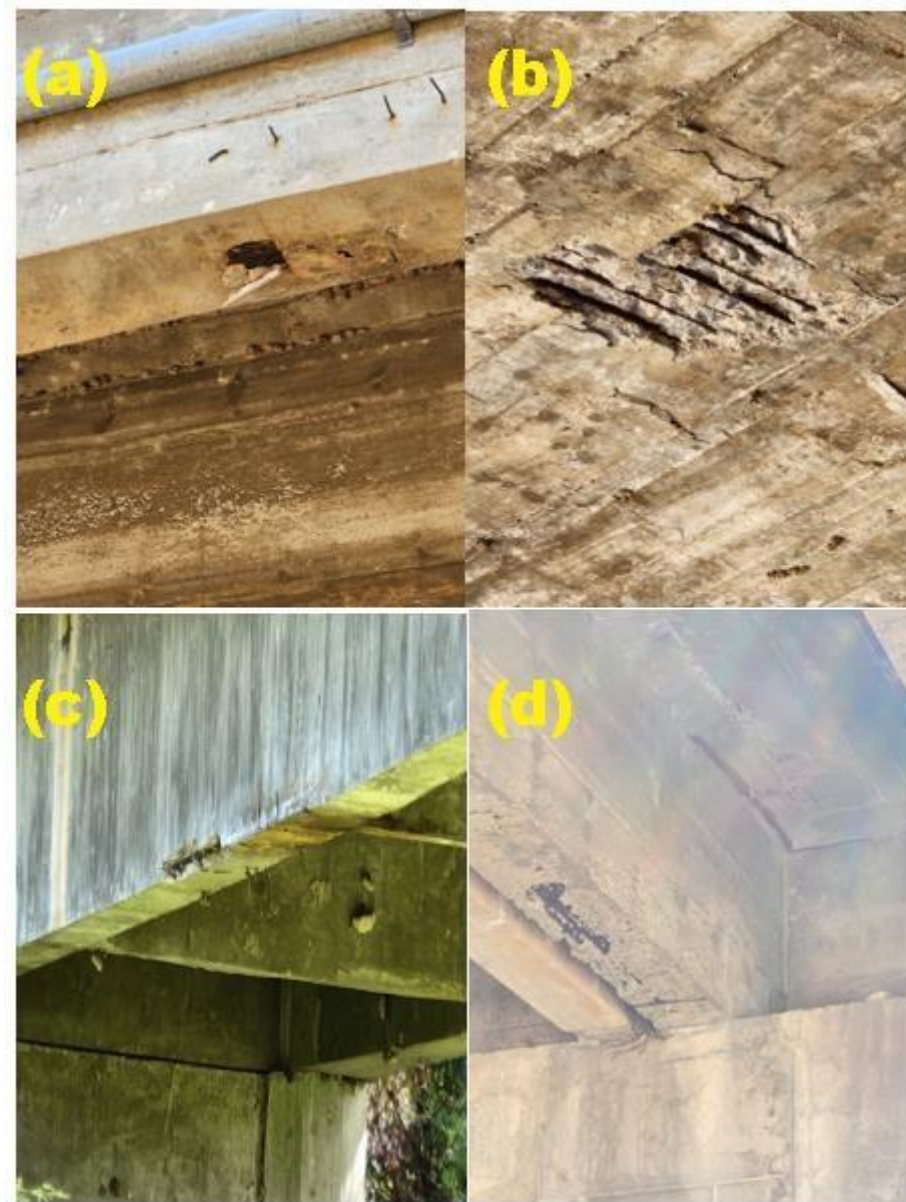
Fonte: Autor (2023).

Os dados apresentados no gráfico revelam uma situação alarmante em relação às vigas das pontes analisadas. É particularmente preocupante que 100% delas estejam afetadas por problemas de umidade e lixiviação. Essas manifestações

patológicas indicam uma alta vulnerabilidade das vigas à ação da umidade, o que pode comprometer a durabilidade do concreto e a resistência das estruturas. A umidade e lixiviação são fatores que podem levar a uma série de problemas adicionais, incluindo a corrosão das armaduras, o que enfraquece ainda mais as vigas e coloca em risco a estabilidade das pontes.

Além disso, é notório que em mais de 80% das vigas analisadas são encontradas fissuras, trincas e corrosão. Essas manifestações patológicas representam ameaças graves à integridade estrutural e à segurança das pontes. Fissuras e trincas podem servir como vias de entrada para agentes agressivos, acelerando a corrosão e enfraquecendo o concreto.

Figura 18 – Manifestações patológicas em vigas



Fonte: Autor (2023).

Laner (2001) apresenta conclusões que estão alinhadas de maneira notável com os dados revelados neste gráfico. Ambos os estudos convergem na identificação de problemas críticos nas vigas das pontes analisadas, com Laner (2021) chegando a afirmar que encontrou incidência de fissuras, trincas, lixiviação e corrosão na ordem de 42%, 53%, 77% e 63%, respectivamente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início deste trabalho, pairava uma significativa incerteza em relação à presença ou ausência de manifestações patológicas nas pontes que servem como acessos vitais ao município de Angicos, no estado do Rio Grande do Norte. As indagações e análises que permearam este estudo refletiram a necessidade premente de investigar a condição estrutural dessas pontes e compreender os desafios que poderiam estar ocultos sob sua aparência aparentemente sólida.

O objetivo geral deste trabalho, que consistia em "Realizar um levantamento das manifestações patológicas das pontes de acesso do município de Angicos/RN," foi plenamente alcançado por meio desta pesquisa. Os resultados deste estudo deixam claro que as manifestações patológicas estão presentes em todas as pontes analisadas, fornecendo uma avaliação abrangente e robusta da condição estrutural dessas infraestruturas.

No que diz respeito ao objetivo específico de "Caracterizar as pontes existentes na região de Angicos/RN e suas características gerais (ano de construção, dimensões, materiais utilizados, etc.)," é importante destacar que embora tenha-se obtido informações valiosas sobre muitas das pontes analisadas, não foi possível alcançar plenamente esse objetivo devido à dificuldade em acessar documentação oficial para algumas das estruturas.

O objetivo específico de "Realizar inspeções visuais nas pontes selecionadas, utilizando técnicas dispostas na literatura," foi plenamente alcançado ao longo deste estudo. Essas inspeções foram cuidadosamente registradas em fotografias, as quais desempenham um papel crucial em evidenciar as manifestações patológicas identificadas.

O objetivo específico de "Analisar as informações obtidas nas inspeções visuais e classificar as pontes de acordo com seu estado de conservação e possíveis patologias" foi integralmente alcançado neste estudo. As inspeções visuais meticulosas resultaram em um conjunto robusto de informações que foram cuidadosamente analisadas e interpretadas. A classificação das pontes com base em seu estado de conservação e nas manifestações patológicas observadas foi efetuada de forma sistemática e documentada por meio de tabelas e gráficos, proporcionando uma representação clara e concisa dos resultados.

O objetivo específico de "Propor soluções para eventuais problemas identificados nas pontes, levando em consideração a viabilidade técnica e econômica

das soluções" foi alcançado com sucesso neste estudo. As manifestações patológicas identificadas durante as inspeções visuais e a análise subsequente foram fundamentais para orientar o processo de proposição de soluções. Cada problema identificado foi abordado considerando sua viabilidade técnica, levando em conta as melhores práticas da engenharia civil, bem como sua viabilidade econômica, visando a otimização dos recursos disponíveis.

Esta pesquisa partiu de uma hipótese, que apontava para a presença de manifestações patológicas nas pontes das rodovias de acesso à cidade de Angicos, no Rio Grande do Norte. A suposição subjacente era de que essas manifestações patológicas, quando existentes, não teriam sido devidamente tratadas ou, caso tenham sido, não teriam sido solucionadas de maneira eficaz. Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, essa hipótese foi testada e confirmada de maneira substancial, uma vez que a análise sistemática das pontes revelou, de forma inequívoca, a existência de manifestações patológicas não tratadas ou tratadas de maneira infrutífera.

A metodologia estabelecida para esta pesquisa, que compreendeu a realização de inspeções visuais, a elaboração de relatórios técnicos documentando as manifestações patológicas encontradas e a sua classificação de acordo com critérios predefinidos, foi rigorosamente seguida durante todo o processo. A abordagem comparativa, ao confrontar os dados coletados in loco com informações provenientes de outros trabalhos semelhantes, fortaleceu a validade e a solidez das conclusões deste estudo, proporcionando uma base confiável para a identificação de manifestações patológicas e a proposição de soluções adequadas.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, algumas limitações e desafios foram enfrentados, que impactaram o processo de coleta de dados e análise. Um dos principais desafios foi o difícil acesso às pontes. Além disso, a escassez de trabalhos anteriores na região abordando temas semelhantes dificultou a comparação e a contextualização dos resultados.

Como recomendação para pesquisadores futuros que busquem abordar questões semelhantes, sugere-se a adoção de uma abordagem colaborativa, envolvendo especialistas de diversas disciplinas para obter uma visão completa dos desafios relacionados à infraestrutura de pontes. Além disso, o uso de equipamentos técnicos avançados, como drones e instrumentação especializada, pode facilitar a coleta de dados mais precisos e abrangentes. Com essas estratégias, os pesquisadores futuros estarão mais bem preparados para enfrentar os desafios associados à avaliação da infraestrutura viária e contribuir para a segurança e durabilidade de nossas pontes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: Abnt, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: Abnt, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações - Porcedimento. Rio de Janeiro: Abnt, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7187**: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento. Rio de Janeiro: Abnt, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7188**: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15577**: Agregados – Reatividade álcali-agregado Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro: Moderna, 2008.

Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto, 2006.

ARAÚJO, J. M. de. **Curso de concreto armado**. Rio Grande: Dunas, 2010.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção 1**. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos, 1994, 435 P.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Ltc, 2008.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Blucher, 2015.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo Ed. PINI, 1988. 522p.

CINCOTTO, M. A. **Ação do Meio sobre o Concreto**. São Leopoldo, 1997. Anais... Durabilidade das Construções.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado: Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988. 220 P.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (DNIT). **IPR 744**:

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **698/100**: MANUAL DE PROJETO DE OBRAS-DE-ARTE ESPECIAIS. Rio de Janeiro: Ipr, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER. **Manual de**

Inspeção Rodoviárias, MT - Instituto de pesquisa rodoviárias. Rio de Janeiro, Ipr, 1980.

EL DEBS, M. K.; TAKEYA, T. **Pontes de Concreto**. São Carlos, USP – Universidade São Paulo, 2009. Notas de aula.

FUNDATEC, **Relatório de Inspeção de Obras-de-Arte do Município de Porto Alegre – Viadutos. Relatório Técnico 004/91 do LEME** (Convênio PMPA/FUNDATEC), Porto Alegre, 1991.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. São Paulo: Pini, 2012.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. São Paulo: PINI, 1986. 46 P.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, 1993. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

HELENE, P. R. L. **Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto**. In: Workshop Durabilidade das Construções. Anais... São Leopoldo, 1997. p 31 – 42

HELENE, P. R. L. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Red Rehabilitar, 2005.

LANER, F. J. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de porto alegre**. 2001. 157 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2001.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Blucher, 2008.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Blucher, 2017.

OLIVEIRA, G. G. **Importância da Manutenção Preventiva nas Pontes e Viadutos do Rio Grande do Sul: Caracterização da Tipologia das Estruturas e Levantamento de Manifestações Patológicas**. Porto Alegre, 1999. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 131 P.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**, 2º Ed. São Paulo: PINI, 1997. 826 P.

PINHO, F. O.; BELLEI, I. H. **Pontes e viadutos em vigas mistas**. Rio de Janeiro: lbs/cbca, 2007.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado: elementos de projetos, solicitações, dimensionamento**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

ROESCH, S. M. A. **Projetos de Estágio e de Pesquisa em Administração**. 3ª ed. São Paulo. Atlas, 2010

SOLANO, J. R. **Mapeamento de manifestações patológicas em ponte de concreto armado: estudo de caso no município de Palmas-TO**. 2019. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. PINI.** 1998. P. 255.

VASCONCELOS, F. O. **Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado – estudo de caso.** 2018. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia/PE, 2018.

VITÓRIO, J. A. P. **Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto.**

WINKEL, R. L. **Análise das manifestações patológicas em pontes na cidade de Teutônia/RS.** 2019. 87 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado/RS, 2019.