



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



Sabrina Ivia Dias Aganete

**Análise de manifestações patológicas em obras de arte
estruturadas em concreto armado – Estudo de caso em Belo
Horizonte (MG)**

Ouro Preto

2025

Sabrina Ivia Dias Aganete

Análise de manifestações patológicas em obras de arte
estruturadas em concreto armado – Estudo de caso em Belo
Horizonte (MG)

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito parcial para obtenção do título de
Engenheira Civil

Orientadora: Dra. Rovadávia Aline de Jesus
Ribas

Ouro Preto

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A259a Aganete, Sabrina Ivia Dias.

Análise de manifestações patológicas em obras de arte estruturadas em concreto ar-mado - estudo de caso em Belo Horizonte (MG).
[manuscrito] / Sabrina Ivia Dias Aganete. - 2025.
37 f.

Orientadora: Profa. Dra. Rovadavia Ribas.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Engenharia civil - Patologias. 2. Concreto armado. 3. Viadutos. I.
Ribas, Rovadavia. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



FOLHA DE APROVAÇÃO

Sabrina Ivia Dias Aganete

Análise das manifestações patológicas em obras de arte de aço e concreto armado – Estudo de caso em Belo Horizonte, MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil

Aprovada em 03 de setembro de 2025

Membros da banca

D.Sc. Rovadavia Aline de Jesus Ribas - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
D.Sc. Geraldo Donizetti de Paula (Universidade Federal de Ouro Preto)
M.Sc. Marcela Paula Grobério (Universidade Federal de Ouro Preto)

Rovadavia Aline de Jesus Ribas, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 22/09/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Rovadavia Aline de Jesus Ribas, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/09/2025, às 11:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0982155** e o código CRC **4180CAD1**.

RESUMO

As manifestações patológicas em obras de arte de engenharia, como viadutos e pontes, representam um desafio recorrente à durabilidade e à segurança estrutural, especialmente em contextos urbanos. Sob essa perspectiva, é comum encontrar, em grandes cidades, esse tipo de construção em situação precária, oferecendo riscos a seus usuários, tornando-se necessárias análises e classificação do grau de prioridade de correção das manifestações patológicas, para que sejam aplicadas ações de manutenção adequadas. Nesse contexto, este estudo visa analisar patologias identificadas em estruturas de aço e de concreto armado, com foco na caracterização dos danos, suas possíveis causas e implicações para a integridade das obras. Desse modo, foram visitadas três obras de arte especiais localizadas em Belo Horizonte, MG, sendo elas o Viaduto Itamar Franco, o Viaduto São Francisco e a Passarela da Imaginação. Em seguida, foi conduzida uma inspeção visual, com registro fotográfico, a fim de se realizar um levantamento das patologias. Por meio da inspeção, análise documental e levantamento das condições de exposição, buscou-se compreender os mecanismos de degradação envolvidos, como corrosão, fissuração, eflorescências e delaminações. Inicialmente foi feita uma classificação das obras de arte especiais por meio de uma tabela e uma matriz de risco, para que a classificação não fosse tendenciosa nem empírica. Além disso, realizou-se também uma classificação quanto ao grau de risco, sendo aplicadas fórmulas empíricas, baseadas na localização da patologia, dentre outros. Por conseguinte, as manifestações patológicas foram comuns a todas as obras de arte especiais, observando-se certo padrão de sua ocorrência e que o principal agente causador foi a água. No entanto, a classificação das O.A.E. (obras de arte especiais) não atingiu níveis elevados de criticidade. Ademais, percebe-se que muitos dos problemas poderiam ser evitados na fase de projeto e no controle de sua evolução. Dessa maneira, esta pesquisa visa contribuir para o diagnóstico técnico e poderá subsidiar estratégias de manutenção e reabilitação dessas infraestruturas tão essenciais à mobilidade urbana.

Palavras-chave: Concreto, Patologias, Obras de arte.

ABSTRACT

Analysis of Pathological Manifestations in Reinforced Concrete Structures – A Case Study in Belo Horizonte (MG)

The pathological manifestations in engineering structures, such as viaducts, bridges and footbridges, represent a recurring challenge to durability and structural safety, especially in urban contexts. From this perspective, it is common to find, in big cities, this type of construction in precarious conditions, posing risks to users, becoming necessary to analyze and classify the degree of priority for correcting pathological manifestations, so that appropriate maintenance actions can be applied. In this context, this study aims to analyze pathologies identified in steel structure and reinforced concrete, focusing on the characterization of damages, their possible causes, and implications for the integrity of buildings. Thereby, three grade separation located in Belo Horizonte, MG, were visited the Itamar Franco Viaduct, the São Francisco Viaduct, and the Imaginação Footbridge. Then, a visual inspection was conducted, with photographic records, in order to carry out a survey of the pathologies. Through inspection, document analysis, and assessment of exposure conditions, the study sought to understand the degradation mechanisms involved, such as corrosion, cracking, efflorescence, and delamination. Initially, a classification of the grade separation was made using a table and a risk matrix, so that the classification would not be biased or merely empirical. Furthermore, an ordered distribution regarding the degree of risk was also carried out, applying empirical formulas based on the location of the pathology, 324, besides others. Consequently, the pathological manifestations were common to all the footbridge and viaduct, showing a certain pattern of occurrence, with water being the main causative agent. However, the classification of the viaducts and footbridges did not reach high levels of criticality. Moreover, it is also noted that many of the problems could have been avoided during the design phase and in the control of their development. Therefore, this research aims to contribute to the technical diagnosis and may support maintenance and rehabilitation strategies for these infrastructures, which are so essential to urban mobility.

Keywords: Concrete, Pathologies, Structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema ilustrativo de ponte	1
Figura 2 – Esquema ilustrativo de viaduto	1
Figura 3 – Esquema ilustrativo de viaduto de acesso	2
Figura 4 – Alternativa em viaduto	2
Figura 5 – Alternativa em aterro.....	2
Figura 6 – Ponte dos Açores – Porto Alegre	3
Figura 7 – Aspecto da Ponte de Pedra em 2008	3
Figura 8 – Análise da severidade das manifestações patológicas	15
Figura 9 – Localização das obras de arte especiais – Belo Horizonte, MG	20
Figura 10 – Vista frontal do viaduto São Francisco	21
Figura 11 – Vista superior do viaduto São Francisco.....	21
Figura 12 – Detalhe típico de uma junta elástica tipo C.B.U.Q. asfáltica	27
Figura 13 – Detalhe de acabamento da impermeabilização	28
Figura 14 – Vista da passarela da imaginação.....	29
Figura 15 – Vista do viaduto Itamar Franco.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nível de criticidade da patologia	15
Tabela 2 – Notas de Classificação	16
Tabela 3 – Fator de Intensidade.....	18
Tabela 4 – Fator de relevância estrutural.....	18
Tabela 5 – Fator agravante	19
Tabela 6 – Relação entre o grau de risco e a classificação das O.A.E.	20
Tabela 7 – Vistoria – Viaduto São Francisco	22
Tabela 8 – Vistoria – Passarela da Imaginação	30
Tabela 9 – Vistoria – Viaduto Itamar Franco	32
Tabela 10 – Classificação Geral	34
Tabela 11 – Grau de risco e a classificação dos viadutos e passarela	34

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo.....	4
1.1.1	Objetivo Geral.....	4
1.1.2	Objetivos Específicos.....	4
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Classificação das pontes, viadutos e passarelas	5
2.1.1	Material da superestrutura.....	5
2.1.2	Comprimento.....	5
2.1.3	Natureza do tráfego	5
2.1.4	Desenvolvimento planimétrico	6
2.1.5	Desenvolvimento altimétrico	6
2.1.6	Sistema estrutural da superestrutura.....	6
2.1.7	Seção transversal.....	6
2.1.8	Posição do tabuleiro	6
2.2	Manifestações patologias associadas a viadutos e passarelas em concreto armado	6
2.2.1	Oxidação/corrosão de armaduras	7
2.2.2	Lixiviação.....	8
2.2.3	Reação expansiva álcali-agregado	9
2.2.4	Reação expansiva por sulfato	10
2.2.5	Falhas nos dispositivos de drenagem e nas juntas de dilatação	10
2.2.6	Fissuras e trincas ativas ou passivas nas peças de concreto armado	10
2.3	Definição de durabilidade, desempenho associados a vida útil das estruturas	11
3.	METODOLOGIA.....	12
3.1	Matriz de riscos.....	13
3.1.1	Severidade da manifestação patológica.....	13
3.1.2	Probabilidade de agravamento da patologia ao longo do tempo.....	14
3.1.2	Nível de criticidade da patologia.....	14
3.2	Classificação	16
2.	4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1	Viaduto São Francisco	21
4.1.1	Sugestões de conduta	26
4.2	Passarela da imaginação	29
4.2.1	Sugestões de conduta	31
4.3	Viaduto Itamar Franco	31

4.3.1 Sugestão de conduta.....	33
4.4 Resultado e notas de classificação das obras de arte especiais.....	34
5. CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano, alinhado ao avanço tecnológico, demandou a criação de travessias capazes de transpor barreiras naturais, como cursos d'água, e obstáculos artificiais, como vias preexistentes. Nesse contexto, a construção de pontes e viadutos surgiu de maneira a otimizar o fluxo viário, reduzindo interrupções no trânsito e promovendo a conectividade entre diferentes trechos urbanos.

Devido à natureza diversa a ser transposta, a diferenciação entre pontes e viadutos pode ser estabelecida com base na função que desempenham. Uma ponte é empregada quando o obstáculo é constituído de curso de água ou outra superfície líquida como por exemplo um lago ou braço de mar, como ilustrado na Figura 1. E viaduto é utilizado quando o obstáculo é um vale ou uma via, como ilustrado na Figura 2.

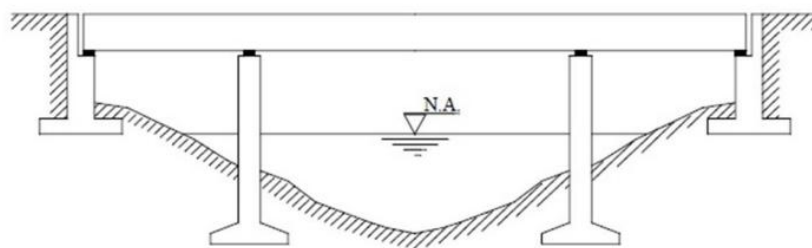


Figura 1 – Esquema ilustrativo de ponte

Fonte – El Debs; Takeya, 2007

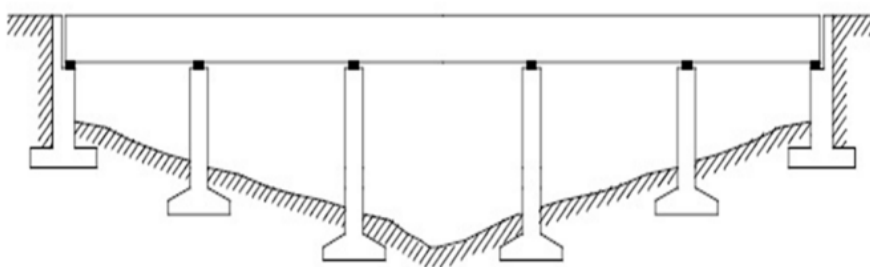


Figura 2 – Esquema ilustrativo de viaduto

Fonte – El Debs; Takeya, 2007

Os viadutos podem receber diferentes denominações baseadas em suas funções, sendo classificados em viaduto de acesso, cuja função é dar acesso a uma ponte (Figura 3) e viaduto de

meia encosta, que é empregado em encostas. O viaduto em encostas, ilustrado na Figura 4 e na Figura 5, tem por objetivo minimizar a movimentação de solo em encostas íngremes, ou como alternativa ao emprego de muro de arrimo ou similar (El Debs; Takeya, 2007).

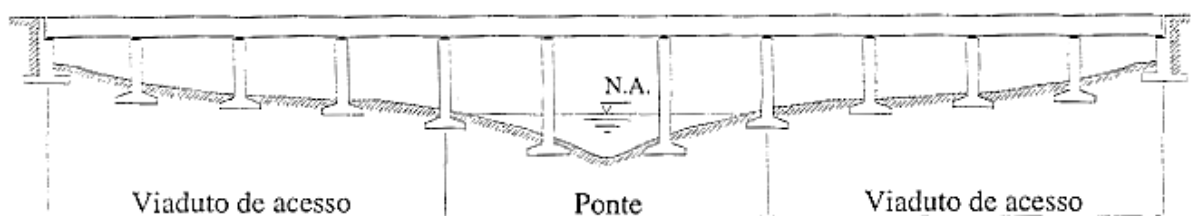


Figura 3 – Esquema ilustrativo de viaduto de acesso

Fonte – El Debs; Takeya, 2007

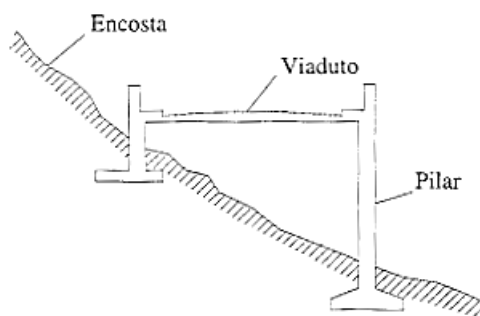


Figura 4 – Alternativa em viaduto

Fonte – El Debs; Takeya, 2007

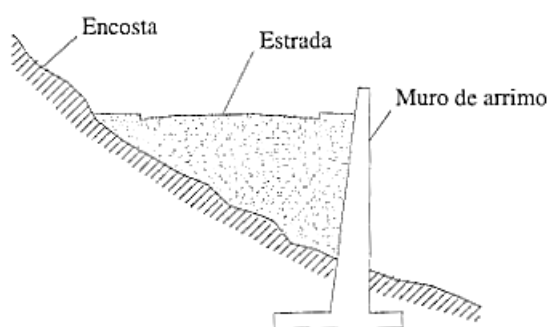


Figura 5 – Alternativa em aterro

Fonte – El Debs; Takeya, 2007

É de suma importância entender que os viadutos e pontes são expressões de arte e compõem a paisagem urbana. O estilo construtivo do local, as políticas e culturas influenciam na estética da

estrutura como um todo. Na Figura 6 ilustra-se como a Ponte dos Açores, localizada em Porto Alegre, RS, compõe a paisagem local após a obra de revitalização e na Figura 7 ilustra-se como a paisagem era antes da revitalização da mesma ponte, também conhecida como Ponte de Pedra.



Figura 6 – Ponte dos Açores – Porto Alegre
Fonte – Wikipédia, 2025



Figura 7 – Aspecto da Ponte de Pedra em 2008
Fonte – Wikipédia, 2025

Ademais, pontes, viadutos e travessias desempenham um papel fundamental na acessibilidade, promovendo a integração de regiões e garantindo a mobilidade de pedestres e veículos com segurança e eficiência. No Brasil, a acessibilidade é garantida a partir de leis e sanções por elas impostas, as quais estabelecem que: “os programas nacionais de desenvolvimento

urbano, os projetos de revitalização, recuperação e reabilitação urbana incluirão ações destinadas à eliminação de barreiras arquitetônicas e urbanísticas, nos transportes e na comunicação e informação” (Brasil, 2004).

A engenharia civil, por meio do planejamento e execução dessas infraestruturas, possibilita a superação de barreiras naturais e artificiais, reduzindo distâncias e facilitando o deslocamento, especialmente para pessoas com mobilidade reduzida. Além disso, a manutenção adequada dessas estruturas não apenas assegura sua durabilidade e funcionalidade, mas também contribui para a preservação da estética urbana, harmonizando-as com a paisagem e evitando a degradação visual das cidades.

Em virtude dos pontos retratados, o presente trabalho visa analisar manifestações patológicas existentes em viadutos, buscando identificar as principais causas de degradação, buscando-se, assim, mostrar como a falta de manutenção pode impactar na degradação precoce da estrutura e como essa degradação afeta o ambiente e a acessibilidade seja por veículos ou pedestres.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo identificar as manifestações patológicas em viadutos, relacionando suas prováveis causas com as possíveis soluções. Com esse levantamento identifica-se um padrão de falhas construtivas ou de manutenção, sendo propostas melhorias a fim de evitar ou mitigar tais patologias em construções futuras.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, enumeram-se:

1. Analisar as anomalias mais recorrentes;
2. Analisar suas principais causas/origens;
3. Identificar o impacto das falhas de manutenção;
4. Classificar as anomalias a partir da matriz de risco;
5. Propor soluções para os casos cabíveis;
6. Avaliar o grau de risco associado às estruturas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As pontes e viadutos são elementos de vital importância para o transporte rodoviário e são imprescindíveis, sendo responsáveis por fazerem ligações em pontos críticos de estradas. Chamados de obras de arte especiais, viadutos e pontes assumem características diferentes baseadas em localização, função dentre outras (Laner, 2001). Diante disso, neste capítulo é exposta uma revisão bibliográfica a respeito de viadutos, como classificação, componente e quaisquer outras subdivisões relevantes para compreensão deste trabalho. São expostas também as principais manifestações patológicas que podem afetar estruturas de aço e de concreto armado, desempenho e durabilidade de estruturas, bem como o procedimento para vistoria e avaliação do empreendimento.

2.1 Classificação das pontes, viadutos e passarelas

As pontes, viadutos e passarelas e podem ser classificadas segundo vários critérios e os mais importantes são: material da superestrutura, comprimento, natureza do tráfego, desenvolvimento planimétrico, desenvolvimento altimétrico, sistema estrutural da superestrutura, seção transversal e posição do tabuleiro (El Debs; Takeya, 2007).

2.1.1 Material da superestrutura

A superestrutura é a parte da ponte destinada a vencer o obstáculo, podendo ser dividida em dois tipos, estrutura principal ou sistema estrutural, que tem a função de vencer o vão livre, e estrutura secundária ou tabuleiro, que recebe a ação direta das cargas e a transmite para a estrutura principal. Os materiais que compõem a superestrutura podem ser de madeira, alvenaria de concreto simples, concreto armado e concreto protendido ou aço.

2.1.2 Comprimento

O comprimento de uma ponte influencia na sua denominação: galerias (bueiros) - de 2 a 3 metros, pontilhões - de 3 a 10 metros, e pontes - acima de 10 metros (El Debs; Takeya, 2007).

2.1.3 Natureza do tráfego

As denominações estão associadas ao tráfego principal, contudo há as pontes mistas, que detêm mais de um tráfego. A partir do tráfego, pode-se classificar uma ponte/viaduto em:

rodoviárias, ferroviárias, passarelas (pontes para pedestres), aeroviárias, aquedutos e mistas (El Debs; Takeya, 2007).

2.1.4 Desenvolvimento planimétrico

O desenvolvimento planimétrico diz respeito ao traçado em planta, sendo ele composto pelas retas (ortogonais ou esconsas) e curvas (El Debs; Takeya, 2007).

2.1.5 Desenvolvimento altimétrico

O desenvolvimento altimétrico pode ser composto por retas (horizontal ou rampa) e curvas (convexo ou concavo) (El Debs; Takeya, 2007).

2.1.6 Sistema estrutural da superestrutura

O sistema estrutural da super estrutura é, normalmente, dividido em: viga, pórtico, arco, pênsil ou estaiada (El Debs; Takeya, 2007).

2.1.7 Seção transversal

A seção transversal de uma ponte/viaduto pode ser classificada em ponte/viaduto de laje, podendo ser maciça ou vazada, e ponte/viaduto de viga sendo essa em seção T ou seção circular (El Debs; Takeya, 2007).

2.1.8 Posição do tabuleiro

A posição do tabuleiro pode ser classificada como superior, intermediária ou inferior (El Debs; Takeya, 2007).

2.2 Manifestações patologias associadas a viadutos e passarelas em concreto armado

O início do processo de industrialização no Brasil e a política de inclusão da indústria automobilística promovida pelo governo do Presidente Juscelino Kubitschek, período que se estendeu de 1956 a 196, incentivou a estimulação do transporte rodoviário e, portanto, a construção de rodovias, vias e viadutos (Rosa, 2021).

Os viadutos e pontes eram predominantemente de madeira e pedra. Contudo, segundo Mitre (2005), a Revolução Industrial, associada ao surgimento do concreto de cimento Portland, proporcionou o desenvolvimento do sistema construtivo em concreto armado, que se tornou

rapidamente uma alternativa viável e adequada para a execução de pontes/viadutos, com menor custo e maior versatilidade arquitetônica.

No Brasil, o concreto armado é atualmente o material de construção mais consumido e, com isso, a tecnologia para sua fabricação evoluiu, com a melhoria das propriedades dos aditivos, adições e ligantes, o que possibilita uma redução significativa nas seções das peças de concreto armado em função do aumento de sua resistência mecânica.

Haja vista que os viadutos, pontes e travessias ficam expostos a intempéries e detêm um fluxo intenso com alta carga móvel e fixa, nota-se que grande parte das obras de arte especiais apresentam um grau de deterioração de moderado a elevado. Tal fato pode-se entender como uma sucessão histórica, devido às circunstâncias nas quais o mercado de engenharia civil está inserido. A mão de obra barata e despreparada, alinhada à falta de conhecimento e gestão dos responsáveis, acarretam muitos erros de execução. Assim, são elencadas, na sequência, as principais manifestações patológicas em viadutos de concreto armado.

2.2.1 Oxidação/corrosão de armaduras

A oxidação/corrosão de armadura é um processo que, apesar de comum, representa alto risco para a estrutura, tendo em vista que afeta diretamente sua capacidade resistente, caso não sejam realizadas ações de manutenção.

São diversos os processos que originam a corrosão e em muitas situações não é fácil, nem rápido justificar e explicar o porquê de uma estrutura corroída. Em geral, atribui-se o fato à falta de cobrimento adequado de concreto, tomando-se como referência as recomendações de normas e regulamentos oficiais (Costa, 2013). Frauches-Santos *et al.* (2014) definem a corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação física, química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Normalmente, trata-se de um processo espontâneo, que está constantemente transformando os materiais metálicos de modo a afetar sua durabilidade e desempenho. Os dois principais processos de corrosão que podem afetar as armaduras de aço para concreto armado, são a oxidação e a corrosão propriamente dita.

A corrosão por oxidação diz respeito ao ataque provocado por uma reação gás-metal, com formação de uma película de óxido. Esse tipo de corrosão é extremamente lento à temperatura

ambiente e não provoca deterioração substancial das superfícies metálicas, salvo se existirem gases excessivamente agressivos na atmosfera (Helene, 1986).

A corrosão propriamente dita acontece quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície dos fios ou barras de aço. Essa película decorre da presença de umidade no concreto, salvo situações especiais e muito raras, tais como dentro de estufas ou sob ação de elevadas temperaturas ($> 80^{\circ}\text{C}$) e em ambientes de baixa umidade relativa ($\text{U.R.} < 50\%$). Esse tipo de corrosão é também responsável pelo ataque que sofrem as armaduras antes de seu emprego, quando ainda armazenadas no canteiro (Costa, 2013).

Helene (1986) escreve que a corrosão pode ser acelerada por agentes agressivos contidos ou absorvidas pelo concreto. Entre eles, podem-se citar os íons sulfetos (S^-), os íons cloretos (Cl^-), o dióxido de carbono (CO_2), os nitritos (NO_3^-), o gás sulfídrico (H_2S), o cátion amônio (NH_4^+), os óxidos de enxofre (SO_2 , SO_3), fuligem etc. Os agentes agressivos não permitem a formação ou quebram a película já existente de passivação do aço, acelerando a corrosão.

De acordo com Aguiar (2011), as principais manifestações da corrosão em estruturas são: corrosão generalizada, corrosão localizada, corrosão sob tensão e corrosão galvânica. A corrosão generalizada ou uniforme ocorre devido à perda generalizada de película de passivação, resultante da frente de carbonatação no concreto e/ou presença excessiva de cloretos. A corrosão localizada se forma pela dissolução localizada da película de passivação, tipicamente causada pela penetração de íons cloretos no meio, vindos do exterior ou pertencentes a algum constituinte do concreto. A corrosão sob tensão se caracteriza por ocorrer em aços submetidos a elevadas tensões, em cuja superfície é gerada uma microfissura que progride muito rapidamente, provocando uma ruptura brusca e frágil do metal, ainda que a superfície não mostre evidências de ataques. A corrosão galvânica, que ocorre quando existem diferentes tipos de metal no mesmo meio eletrolítico e o metal com menos atividade eletroquímica é corroído.

2.2.2 Lixiviação

A lixiviação nos materiais cimentícios é causada quando eles estão em contato com líquidos constantemente renovados, que agem como solvente, tais como água pura, destilada, deionizada, doce ou dessalinizada (Neumann Junior, 2019). Ocorre que, quando a água entra em contato com a pasta de cimento, ela tende a hidrolisar os produtos da hidratação que contém cálcio,

sendo o CH e o C-S-H os constituintes mais susceptíveis à hidrólise. Inicialmente ocorre a diminuição de concentração de íons na solução interna dos poros, e então o cálcio sólido da estrutura começa a se dissolver gradualmente (Keshu *et al.*, 2015; Tang *et al.*, 2016 apud Neumann Junior, 2019).

Os íons de cálcio da pasta de cimento, já dissolvidos, migram para a solução agressiva, em função do permanente contato com água (Gaitero, Campillo e Guerrero, 2008 apud Neumann Junior, 2019). Ou seja, ocorre um transporte de massa de um sólido para um líquido (Wong e Chui, 2003 apud Neumann Junior, 2019), em função das diferenças de composição e concentração entre a água em contato com o concreto e a solução interna existente em seus poros (Neumann Junior, 2019).

Por conseguinte, observa-se uma redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto e riscos de despassivação da armadura. Tais fatos acometem a eflorescência, que é um tipo de manifestação patológica decorrente do processo de lixiviação dos compostos calcários da pasta de cimento que se acumulam na superfície, formando depósitos de sais de coloração branca após a evaporação de água (Rosa, 2021).

2.2.3 Reação expansiva álcali-agregado

A reação álcali-agregado é um fenômeno resultante da interação química entre os compostos hidratados do cimento com minerais reativos dos agregados, formando compostos que, na presença de umidade, possuem características expansivas, que podem levar à fissuração e à degradação do concreto. A reação mais recorrente nas estruturas em concreto armado no Brasil, ocorre com agregados (areias) que contenham certos tipos de sílica amorfa, conforme Sena, Nascimento e Nabut (2020).

Os íons hidroxilas presentes na pasta de cimento em contato com os álcalis óxido de sódio e óxido de potássio, ao interagirem com a sílica integrante do agregado e na presença de água, resultam na destruição da ligação da estrutura da sílica e na formação de um gel de silicatos de cálcio e álcalis. Esse gel é higroscópico, sendo capaz de absorver água e gerar pressão hidráulica, ocasionando forças de tração que expandem o concreto e criam um estado vulnerável a fissuras (Sena, Nascimento e Nabut; 2020).

2.2.4 Reação expansiva por sulfato

A norma técnica ABNT NBR 6118:2023, que trata do “Projeto de estruturas de concreto – Procedimento”, determina que o processo de expansão por sulfatos é um dos mecanismos preponderantes de deterioração da estrutura em concreto, e define o processo como uma reação proveniente da ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados por sulfatos que, em contato com a pasta de cimento hidratado, resulta em reações expansivas e deletérias à estrutura. O sulfato reage com o aluminato tricálcico da pasta de cimento e forma a etringita que possui características expansivas e pode resultar na fissuração do concreto.

2.2.5 Falhas nos dispositivos de drenagem e nas juntas de dilatação

Os dispositivos de drenagem em pontes, viadutos e passarelas de pedestres desempenham um papel fundamental na preservação da integridade estrutural e na segurança dessas obras, ao evitarem a concentração e a infiltração de água pluvial sobre ou dentro das estruturas. De acordo com Souza (2017), falhas nos sistemas de drenagem, como por exemplo, entupimentos de ralos, ausência de canaletas eficientes ou tubulações danificadas, são causas recorrentes de manifestações patológicas, como corrosão das armaduras, destacamento do concreto e processos de lixiviação. Entre os principais dispositivos utilizados nessas obras, encontram-se canaletas longitudinais, grelhas de captação, tubos de descida (*downspouts*) e sistemas de impermeabilização da laje de tráfego.

As juntas de dilatação são elementos essenciais que compõem as estruturas e têm como objetivo permitir sua movimentação em pontos estratégicos, de forma a evitar o surgimento de fissuras e de demais manifestações patológicas oriundas da dilatação térmica e da movimentação da estrutura. No entanto, as fissuras podem surgir e as falhas e danos observados nas juntas podem ser resultantes dos seguintes fatores: dimensionamento incorreto; acúmulo de detritos; variações extremas de temperatura; impactos de veículos pesados; desgaste ou ausência do material da junta, originados pelo uso ou por uma má conservação (Rosa, 2021).

2.2.6 Fissuras e trincas ativas ou passivas nas peças de concreto armado

As fissuras e trincas são sintomas que podem aparecer desde as primeiras idades até o fim da vida útil das estruturas de concreto armado. De acordo com Laner (2001), as fissuras são as

manifestações patológicas mais comuns nesse tipo de estrutura e podem se originar de diferentes fatores durante sua ocorrência em pontes e viadutos.

O posicionamento das fissuras nos elementos estruturais, assim como a dimensão, o espaçamento e a trajetória são características que contribuem para identificação da causa de sua ocorrência e para o diagnóstico/terapia. As fissuras em estruturas de concreto podem ser classificadas como ativas ou passivas, de acordo com sua origem e comportamento ao longo do tempo. As fissuras ativas são aquelas que tendem a se movimentar ou a sofrer variações em sua largura e comprimento, geralmente em função de ações externas contínuas ou variáveis, como recalques diferenciais, esforços estruturais e variações térmicas ou higroscópicas. Por sua vez, as fissuras passivas são estáveis, ou seja, não apresentam variação significativa após sua formação, sendo normalmente decorrentes de retrações plásticas, erros de execução ou processos de cura inadequados (Silva; Godoy, 2022).

São muitas as causas e os tipos de fissuras que podem ocorrer nas estruturas em concreto armado, e, apesar de, na grande maioria dos casos, não representarem um risco estrutural logo no início do seu surgimento, elas compõem meios/caminhos que favorecem o ingresso de agentes agressivos na estrutura bem como a deterioração do concreto e corrosão das armaduras, podendo, a longo prazo, influenciar as propriedades resistentes das estruturas e representar riscos à segurança da obra e da sociedade no geral (Rosa, 2021).

2.3 Definição de durabilidade, desempenho associados a vida útil das estruturas

A degradação prematura das edificações ou suas partes, e a consequente redução de desempenho, é um problema frequente em todo o mundo. Essa deterioração ocorre devido, sobretudo, ao envelhecimento precoce das edificações, o qual geralmente é desencadeado pela baixa qualidade dos materiais de construção empregados, por problemas de projeto e execução e falta de manutenção (Possan; Demoliner, 2013).

No Brasil, a norma que regulamenta desempenho, durabilidade e vida útil das estruturas de concreto é a ABNT NBR 15575:2021 – Edificações Habitacionais – Desempenho, sendo esse documento normativo voltado ao desempenho de edificações habitacionais. Objetiva estabelecer uma sistemática de avaliação de tecnologias e sistemas construtivos habitacionais, com base em requisitos e critérios de desempenho expressos em normas técnicas brasileiras vigentes. E a norma

ABNT NBR 6118:2023 – Projeto de Estruturas de Concreto, estabelece os critérios para o projeto, dimensionamento e execução de estruturas de concreto armado e protendido.

Desempenho pode ser definido como o comportamento em uso. No caso de uma edificação pode ser entendido como: “*condições mínimas de habitabilidade necessárias para que um ou mais indivíduos possam utilizar a edificação durante um período de tempo*”, segundo Possan e Demolier (2013, p. 5). O desempenho pode variar de um indivíduo para outro, pois depende das exigências do usuário (na concepção) ou dos cuidados no uso (manutenção). Também depende das condições de exposição do ambiente em que a edificação será construída, como temperatura, umidade, insolação, ações externas resultantes da ocupação etc. (Possan; Demolier, 2013).

De acordo com a norma ISO 13823 (2008), durabilidade é a capacidade de uma estrutura ou de seus componentes de satisfazer, com dada manutenção planejada, os requisitos de desempenho do projeto, por um período específico de tempo sob influência das ações ambientais, ou como resultado do processo de envelhecimento natural. Destaca-se que a durabilidade não é uma propriedade intrínseca dos materiais, mas sim uma função relacionada com o seu desempenho sob determinadas condições ambientais. Seu envelhecimento resulta das alterações das propriedades mecânicas, físicas e químicas, tanto na superfície como no seu interior, em grande parte devida à agressividade do meio ambiente.

A vida útil é definida pela norma ISO 13823 (2008) “como o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo”. De forma mais simples a NBR 15575 (2021) define vida útil como “uma medida temporal da durabilidade de um edifício ou de suas partes”. Em suma, pode-se entender como vida útil o período de tempo compreendido entre o início de operação e uso de uma edificação até o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário, sendo diretamente influenciada pelas atividades de manutenção e reparo e pelo ambiente de exposição (Possan; Demolier, 2013).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho é constituído de uma análise visual de três obras de arte localizadas em Belo Horizonte, MG. Para isso, após uma pesquisa na literatura a respeito das manifestações patológicas associadas a esse tipo de estrutura foi conduzida uma visita para confirmar sua presença

nas estruturas. Na sequência, foram analisadas as possíveis causas e soluções. A outra etapa consistiu na definição dos critérios para a determinação do grau de risco estrutural, que as manifestações patológicas, causam de cada ponte, adotando-se a seguinte classificação: sem problemas, baixo, médio, alto e crítico. Essa classificação baseou-se nas variedades, intensidades e gravidades das lesões observadas nos diversos componentes estruturais, levando em conta a importância de tais componentes na estabilidade (local ou global) de cada obra.

3.1 Matriz de riscos

A avaliação de riscos estruturais em obras de arte especiais, como pontes, viadutos e passarelas, é fundamental para a gestão eficiente da manutenção e da segurança. Nesse contexto, o uso de matrizes de risco tem se consolidado como uma ferramenta prática e objetiva para subsidiar decisões técnicas. Essas matrizes permitem correlacionar variáveis que influenciam o risco associado a patologias estruturais, fornecendo um critério sistemático para a priorização de intervenções.

Diversos estudos na literatura propõem diferentes formas de configurar essas matrizes. Para o presente trabalho, adota-se no eixo horizontal (X) da matriz o critério da severidade técnica da patologia, classificada em níveis (leve, moderada, severa), conforme diretrizes estabelecidas por normas como a ABNT NBR 9452:2016, que trata da inspeção de pontes rodoviárias. O eixo vertical (Y) considera a probabilidade de agravamento da patologia com o tempo, definida como a chance de que a manifestação se intensifique ao longo do tempo, provocando degradação mais acentuada do elemento afetado.

3.1.1 Severidade da manifestação patológica

O eixo X da matriz representa a severidade da manifestação patológica, ou seja, o grau de comprometimento que a patologia causa à estrutura naquele momento. Trata-se de uma variável, que retrata o estado atual da anomalia observada. A severidade foi classificada em três níveis:

- **Leve:** Patologias superficiais ou estéticas, sem impacto na capacidade estrutural.
- **Moderada:** Patologias que indicam início de deterioração estrutural, mas ainda com desempenho aceitável.

- **Severa:** Patologias com comprometimento direto à segurança estrutural ou funcional da obra.

3.1.2 Probabilidade de agravamento da patologia ao longo do tempo

O eixo Y expressa a probabilidade de agravamento da patologia ao longo do tempo, ou seja, a chance de que a manifestação atual evolua para um estágio mais crítico caso não haja intervenção. A classificação da probabilidade foi dividida em três níveis.

- **Baixa:** Patologias com tendência de evolução lenta ou estabilizada, sem agravantes externos relevantes.
- **Média:** Patologias com potencial moderado de piora, especialmente em estruturas expostas a intempéries ou tráfego intenso.
- **Alta:** Patologias com evolução acelerada ou já em estágio avançado, que podem se tornar críticas em curto prazo.

3.1.2 Nível de criticidade da patologia

A partir das informações obtidas durante a inspeção realizada in loco, as manifestações patológicas identificadas foram classificadas quanto à sua severidade e à probabilidade de agravamento. A combinação entre esses dois fatores permite a definição do nível de criticidade de cada patologia, definido conforme a Tabela 1, servindo assim, como instrumento para a priorização técnica das ações corretivas. A matriz de risco associado está ilustrada na Figura 8, de maneira que, patologias com alta severidade e alta probabilidade de agravamento são classificadas como críticas e demandam intervenção imediata, enquanto aquelas com menor grau de risco, podem ser incluídas em planos de monitoramento ou manutenção preventiva.

Tabela 1 – Nível de criticidade da patologia

Severidade	Descrição	Aplicabilidade	Solução
Mínima 	São manifestações de severidade baixa ou média, que a longo prazo trarão um dano mínimo à estrutura.	Pequenas reduções no desempenho e na funcionalidade, principalmente relacionadas a aspectos estéticos ou a intervenções programáveis e planejadas.	Medidas podem ser adotadas para mitigar os danos, mas sua implementação não é obrigatória. Caso não sejam aplicadas, a manifestação patológica deve ser monitorada continuamente, avaliando-se sua progressão e possíveis impactos na estrutura.
Regular 	São manifestações de severidade mínima, média ou alta que a longo prazo trarão um dano regular à estrutura.	Caracteriza-se pela perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação, sem comprometer diretamente a operação dos sistemas. Pode levar à deterioração precoce.	Medidas devem ser implementadas a médio ou longo prazo para mitigar os danos à estrutura, prevenindo sua deterioração precoce e garantindo a manutenção de seu desempenho e durabilidade.
Crítica 	São manifestações de severidade média ou alta que a longo prazo trarão um dano crítico à estrutura.	Representa situações que comprometem a saúde, a segurança das pessoas e o meio ambiente, resultando em perda severa de desempenho e funcionalidade.	Medidas devem ser adotadas em curto prazo e com caráter de urgência para evitar a progressão dos danos e garantir a segurança e a integridade da estrutura.

Fonte – A autora, 2025

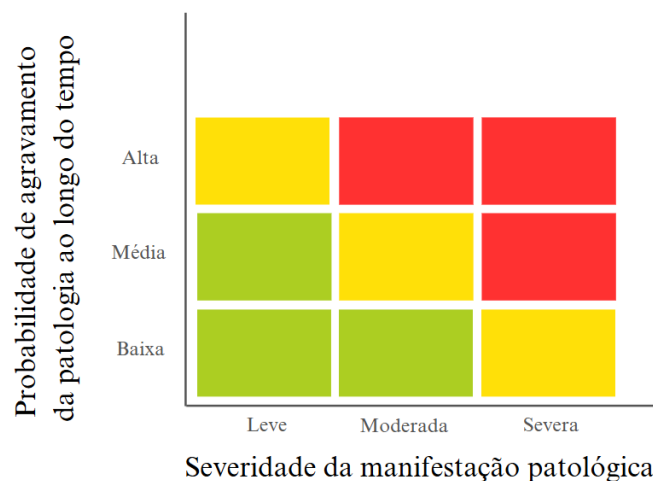


Figura 8 – Análise da severidade das manifestações patológicas

Fonte – A autora, 2025

3.2 Classificação

Este tópico tem por objetivo avaliar as obras de arte especiais, classificá-las e analisar o grau de risco das estruturas. Para a classificação de suas condições, foi aplicada a norma ABNT NBR 9452:2023, que apresenta uma tabela (Tabela 2) de notas e critérios para avaliação dos diversos elementos. Dessa maneira, pode-se atribuir uma pontuação quantitativa ao estado de conservação, considerando aspectos como integridade, presença de danos e funcionalidade.

Tabela 2 – Notas de Classificação

Nota de Classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura está em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A obra de arte apresenta segurança e conforto aos usuários.	A obra de arte está em condições adequadas, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas isoladas, sem comprometer a segurança estrutural.	A obra de arte apresenta pequenos danos que não chegam a causar redução significativa de desempenho, desconforto ou insegurança ao usuário.	A obra de arte apresenta pequenas e poucas anomalias que comprometam sua vida útil. Estrutura em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A obra de arte apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A obra de arte apresenta pequenas e poucas anomalias, que podem comprometer sua vida útil, em regiões de moderada a alta agressividade ambiental, ou apresenta moderadas a muitas anomalias, mas a estrutura está em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança da estrutura, porém sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A obra de arte necessita de	A obra de arte com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo	A obra de arte apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em regiões de alta

Nota de Classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
		intervenções significativa a curto prazo.	intervenções de curto prazo.	agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural, com elementos em estado crítico e risco tangível de colapso. A obra de arte necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição parcial ou total ao tráfego e escoramento provisório, bem como monitoramento por instrumentalização, ou não.	A obra de arte não apresenta condições funcionais de utilização.	A obra de arte encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema de risco estrutural e/ou funcional.

Fonte – ABNT, 2023

Diante das anomalias identificadas, nota-se, que a degradação estrutural das edificações é um processo natural ao longo do tempo, influenciado pela durabilidade dos materiais, pelas condições de exposição e pela efetividade da manutenção preventiva.

No entanto, a severidade dos danos observados evidencia a influência dos vícios construtivos, resultando em patologias como corrosão, destacamento do concreto, infiltrações e falhas na impermeabilização. A recorrência de trincas e fissuras em todos os ambientes analisados reforça a hipótese de falhas executivas, muitas das quais poderiam ter sido evitadas ou mitigadas com técnicas adequadas de controle.

A partir do levantamento das manifestações patológicas feitas, alinhado às notas de classificação, é possível avaliar o grau de risco das estruturas. Para avaliar como as lesões de cada componente estão sendo determinantes para o grau de risco global de cada obra, foi definido um “Fator de Intensidade”, que considera a intensidade de cada manifestação patológica variando em escala de 1 a 5, conforme Tabela 3 (Vitório, 2008).

Tabela 3 – Fator de Intensidade

Fator de intensidade (FI)	Situação dos componentes
1	Perfeitas condições, sem lesões estruturais
2	Boas condições, lesões estruturais leves
3	Razoáveis condições, lesões estruturais toleráveis com pequena perda de resistência
4	Más condições, lesões graves, gerando significativa insuficiência estrutural
5	Péssimas condições, lesões muito graves, gerando situação crítica com grande insuficiência estrutural

Fonte – Vítório, 2008

Os componentes, por sua vez, foram listados conforme a sua localização na superestrutura, mesoestrutura ou infraestrutura. A avaliação da importância de cada componente no desempenho estrutural da obra, quanto à situação de risco, foi determinada por meio da aplicação de um “Fator de relevância estrutural” conforme Tabela 4 (Vítório, 2008).

Tabela 4 – Fator de relevância estrutural

Fator de relevância (FR)	Descrição dos componentes
5	Fundações, encontros, pilares, dentes Gerber
2,5	Vigas principais, aparelhos de apoio, juntas de dilatação
1,5	Lajes do tabuleiro, pavimento, cortinas, alas
0,75	Transversinas, lajes de transição
0,25	Barreiras, guarda-rodas, instalações diversas

Fonte – Vítório, 2008

Foram atribuídos valores ao “Fator agravante” que variam conforme cada situação específica no conjunto das obras estudadas, de modo que o grau de risco obtido pode ser majorado conforme, por exemplo, a existência de erosões e de grande redução nas seções de armaduras dos pilares, além da idade da obra, que por sua vez tem a ver com a redução dos parâmetros de resistência dos materiais e com as ações das cargas móveis, atualmente bem maiores do que as que foram utilizadas nos projetos originais de tais obras.

Tabela 5 – Fator agravante

Fator agravante (FA)	Situação específica da O.A.E.
1,25	Erosão em fundações de pilares e encontros
1,20	Erosão em aterros de acesso
1,10	Seção de vazão insuficiente
1,20	Redução de seção de armaduras de pilares
1,00	Idade da obra até 25 anos
1,05	Idade da obra entre 25 e 35 anos
1,10	Idade da obra entre 35 e 45 anos
1,15	Idade da obra entre 45 e 55 anos
1,20	Idade da obra maior que 55 anos

Fonte – Vitório, 2008

Com base em todos os fatores citados, foi calculado o grau de risco estrutural de cada obra relacionada. O método de cálculo consistiu na ponderação do “Fator de relevância” (FR) dos componentes, com o “Fator de intensidade” (FI), de modo que o grau de risco (GR) pode ser obtido pela Equação 1.

$$GR = \frac{\sum(FR \times FI)}{10} \quad \text{Equação 1}$$

Conforme o enquadramento de cada obra nas situações específicas, a expressão será corrigida com a aplicação do “Fator agravante” (FA), conforme Equação 2.

$$GR_f = FA \left[\frac{\sum(FR \times FI)}{10} \right] \quad \text{Equação 2}$$

É importante destacar que o “Fator agravante” é cumulativo, ou seja, caso uma obra se enquadre em mais de uma das situações, o valor de FA levará em conta todas as situações, o que, evidentemente, aumentará o grau de risco final (GR_f), conforme especifica-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Relação entre o grau de risco e a classificação das O.A.E.

Grau de risco obtido (GR_f)	Classificação da O.A.E.
$GR_f \leq 1$	Sem problemas
$1 < GR_f \leq 2$	Baixo
$2 < GR_f \leq 3$	Médio
$3 < GR_f \leq 4$	Alto
$4 < GR_f \leq 5$	Crítico

Fonte – Vitório, 2008

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente tópico, mostra-se a avaliação obtida para os viadutos São Francisco e Itamar Franco, bem como, a Passarela da Imaginação, localizados na cidade de Belo Horizonte, MG. A Figura 9 ilustra a localização dessas obras de arte especiais (O.A.E.).

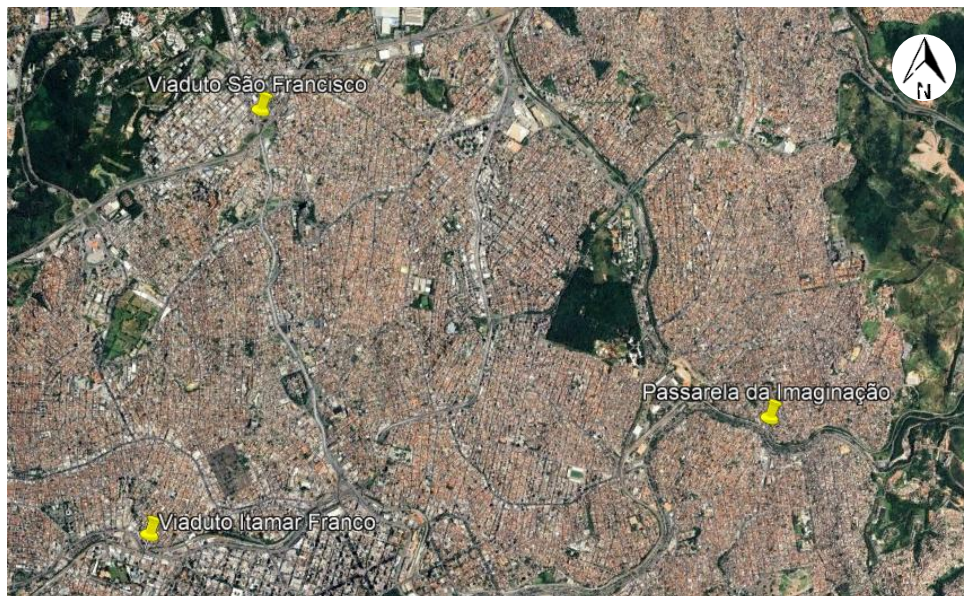


Figura 9 – Localização das obras de arte especiais – Belo Horizonte, MG

Fonte – GoogleEarth, 2025

4.1 Viaduto São Francisco

O Viaduto São Francisco é uma estrutura viária localizada no bairro São Francisco, na região da Pampulha, em Belo Horizonte, MG. Ele integra o Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo (BR-262/BR-381), sendo responsável por transpor a Avenida Presidente Antônio Carlos, uma das principais vias de ligação entre o centro da cidade e a região norte, incluindo o Aeroporto da Pampulha e a Cidade Administrativa. Essa localização estratégica o torna um ponto de referência para os limites administrativos das regionais Nordeste e Noroeste da capital mineira. A vista frontal e superior da obra de arte especial está ilustrada na Figura 10 e Figura 11, respectivamente.



Figura 10 – Vista frontal do viaduto São Francisco

Fonte – Google Maps, 2025



Figura 11 – Vista superior do viaduto São Francisco

Fonte – Google Maps, 2025

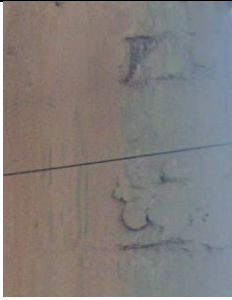
Na Tabela 7, estão dispostas as manifestações patológicas identificadas no Viaduto São Francisco, bem como suas descrições, origens, consequências e avaliação.

Tabela 7 – Vistoria – Viaduto São Francisco

Manifestação Patológica	Localização	Descrição	Origem	Consequência	Avaliação
	Cabeceira lateral direita	Drenagem lateral obstruída.	Drenagem comprometida por lixo.	Sem escoamento, observa-se a formação de limo comprometendo a estética da edificação.	Mínimo 
	Cabeceira lateral direita	Crescimento de vegetação na camada de concreto da laje inferior do tabuleiro.	Presença de água e matéria orgânica (vegetação) nas fissuras do concreto.	Fissuração de desagregação do concreto devido às raízes.	Regular 
	Cabeceira lateral direita	Destacamento do concreto e corrosão da armadura. Pintura comprometida.	Percolação livre de água pela junta	Em estado avançado pode comprometer além da estética a estabilidade da estrutura.	Regular 
	Cabeceira lateral direita	Destacamento do concreto, trincas e pichação.	A trinca orientada e o destacamento visualmente, são abruptos e podem ser devidos a algum impacto na estrutura.	Comprometimento da estabilidade da estrutura.	Crítico 

Continua

Manifestação Patológica	Localização	Descrição	Origem	Consequência	Avaliação
	Cabeceira lateral direita	Presença de lixo, limo entre as duas pistas.	O limo e o carreamento de material são devidos à falha dos dispositivos de drenagem.	Se o carreamento de solo se exceder pode comprometer a estrutura.	Regular 
	Laje inferior do tabuleiro	Surgência de limo com deterioração do concreto que está em contato com a água diariamente. Oxidação de armadura exposta e eflorescência.	Percolação livre de água devido a falha dos dispositivos de drenagem (dreno).	Comprometimento estético e, se evoluir, pode comprometer a laje e, por consequência, a estabilidade da estrutura.	Mínimo 
	Laje inferior	Eflorescências e trincas mostram degradação em alguns pontos da laje. Formação de limo.	Percolação livre de água devido a falha dos dispositivos de drenagem (dreno).	Comprometimento estético e, se evoluir, pode comprometer a laje e, por consequência, a estabilidade da estrutura.	Mínimo 
	Laje inferior	Eflorescências e trincas mostram degradação em alguns pontos da laje. Formação de limo e destacamento do concreto.	Percolação livre de água devido a falha dos dispositivos de drenagem (dreno).	Comprometimento estético e, se evoluir, pode comprometer a laje e, por consequência, a estabilidade da estrutura.	Mínimo 

Manifestação Patológica	Localização	Descrição	Origem	Consequência	Avaliação
	Cabeceira lateral esquerda	Sinais de infiltração na transição terrapleno x tabuleiro e crescimento de vegetação e presença de trincas.	Percolação livre de água.	Degradação do concreto.	Regular 
	Cabeceira lateral esquerda	Drenagem lateral obstruída.	Drenagem comprometida pelo lixo e vegetação em excesso.	Sem escoamento, observa-se a formação de limo comprometendo a estética da edificação.	Mínimo 
	Cabeceira lateral esquerda	Destacamento do concreto e corrosão da armadura. Pintura comprometida.	Percolação livre de água pela junta que corroeu a armadura, expandiu e levou ao destacamento do concreto.	Em estado avançado pode comprometer, além da estética, a estabilidade da estrutura.	Regular 
	Cabeceira lateral esquerda	Drenagem lateral obstruída.	Drenagem comprometida pelo lixo e vegetação em excesso	Sem escoamento, observa-se a formação de limo comprometendo a estética da edificação.	Mínimo 
	Cabeceira lateral esquerda	Destacamento do concreto superficial.	Pode ser advindo de algum impacto ou da umidade, tendo sido pintada sem reparos.	Nesse estado avançado, com armadura aparente, pode comprometer, além da estética, a estabilidade da estrutura.	Crítico 

Manifestação Patológica	Localização	Descrição	Origem	Consequência	Avaliação
	Cabeceira lateral esquerda	Presença de lixo e lodo entre as duas pistas.	O lodo e o carregamento de material são devidos à falha dos dispositivos de drenagem.	Se o carregamento de solo se exceder pode comprometer a estrutura.	Mínimo 
	Pista de rolagem	Presença de trincas próximas à junta. Destacamento do concreto e corrosão da armadura.	A trinca perto da junta pode ser advinda de impactos constantes devido à diferença de altura.	A trinca foi avaliada pelos bombeiros e a constatação é que não oferece riscos, contudo, é importante continuar observando se há uma progressão.	Regular 
	Mureta direita	Destacamento do concreto, corrosão da armadura e armadura exposta.	A corrosão da armadura, normalmente, causa uma expansão e, por consequência, o destacamento do concreto.	Perda da integridade estrutural da contenção lateral.	Regular 
	Mureta esquerda	Destacamento do concreto, corrosão da armadura e armadura exposta. Início de corrosão do guarda-corpo.	A corrosão da armadura causa uma expansão e, por consequência, o destacamento do concreto.	Perda da integridade da contenção lateral.	Regular 

Manifestação Patológica	Localização	Descrição	Origem	Consequência	Avaliação
	Mureta de divisão de pistas	Destacamento do concreto, corrosão da armadura e armadura exposta.	A corrosão da armadura causa uma expansão e, por consequência, o destacamento do concreto.	Perda da integridade estrutural da contenção lateral.	Regular 

Conclusão

Fonte – A autora, 2025

4.1.1 Sugestões de conduta

Apresentam-se, neste tópico, algumas sugestões para mitigar as patologias identificadas no Viaduto São Francisco. Essa estrutura possui um sistema de drenagem limitado, composto por drenos verticais e inclinação da pista. Nota-se que os drenos verticais não estão operando de forma eficaz, resultando no acúmulo de água e formação de limo na região. Além disso, as juntas de dilatação apresentam trincas, fissuras e acúmulo de limo, possivelmente devido a falhas no processo construtivo ou ao desgaste excessivo da edificação. Como medida corretiva, recomenda-se limpeza e impermeabilização das diversas partes da estrutura.

Como o projeto do viaduto não está disponível, ao que tudo indica, a junta de projeto do viaduto seria do tipo “junta oculta sob pavimento contínuo”, que consiste em pavimentar continuamente a região da junta com um produto betuminoso, recomendando-se que o espaço da junta seja preenchido com um elemento de suporte que acomoda, paralelamente, os movimentos da junta (Tofanetto; Oliveira, 2021).

Contudo, a água está passando por essa região e é possível observar a perda do pavimento flexível na junta. Como solução, indica-se colocar um novo material de suporte ou, trocar o tipo de junta para outra selada com material elástico, que consiste na aplicação de um cordão de material ligado aos bordos da junta e que, pelas suas características elásticas, permite acomodar pequenos deslocamentos. Os materiais utilizados (alguns, poliuretanos e silicones) devem ter estabilidade volumétrica. Na Figura 12, ilustra-se o detalhe construtivo para execução e impermeabilização das juntas de dilatação elásticas C.B.U.Q asfáltica.

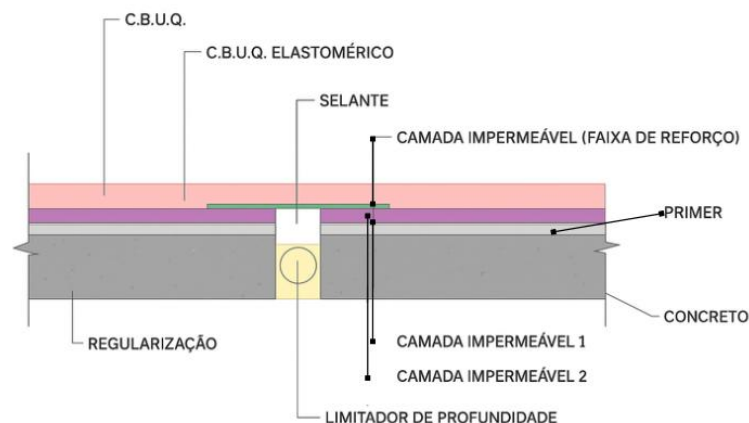


Figura 12 – Detalhe típico de uma junta elástica tipo C.B.U.Q. asfáltica

Fonte – Tofanetto; Oliveira, 2021

Pontos de escoamento (grelhas, ralos etc.) são locais críticos, pois normalmente são fabricados com produtos (PVC, metálicos ou outros) que têm coeficientes de dilatação diferentes dos demais materiais/componentes da ponte (concreto, asfalto etc.) e acabam se tornando pontos de fissuras e vazamentos no entorno da tubulação. Nesse viaduto, além de não haver tratamento adequado com a impermeabilização, observa-se que não existe uma grelha superior, permitindo a entrada de detritos, que causam entupimentos e transbordamentos. Tudo isso, aliado à falta de manutenção, faz com que a estrutura se deteriore precocemente. A execução do dreno não está adequada, seu comprimento está pequeno, fazendo com que a água que escorre pelo tubo fique em contato constante com o concreto. Na Figura 13 ilustra-se o detalhe construtivo para execução e impermeabilização dos drenos verticais.

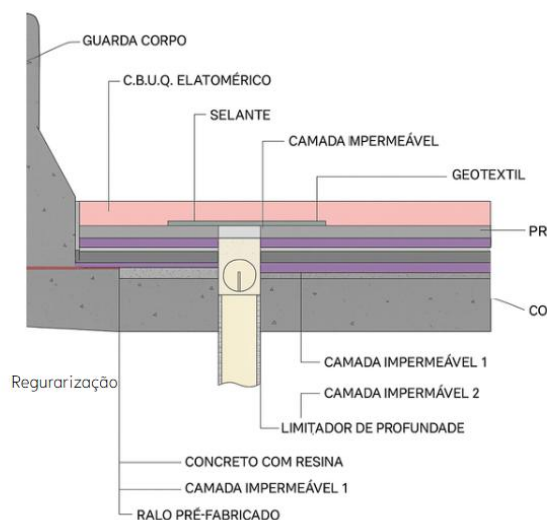


Figura 13 – Detalhe de acabamento da impermeabilização

Fonte – Tofanetto; Oliveira, 2021

A falha da drenagem, alinhada à exposição constante às intempéries, culminou na corrosão das armaduras, cabendo ressaltar que, por meio da inspeção visual, não é possível avaliar se a corrosão é parcial ou total. Isso posto, recomenda-se uma nova inspeção a fim de se avaliar possíveis avarias estruturais com equipamentos adequados. Ademais, como sugestão de conduta recomenda-se o reparo nas armaduras.

A corrosão e expansão das armaduras, alinhada ao contato constante com a água causou fissuras no concreto e destacamento. Como sugestão de conduta, recomenda-se o reparo do concreto que, por sua vez, deve ser feito após os reparos da armadura. Recomenda-se que o viaduto seja pintado com material adequado e, se possível, impermeabilizado.

As muretas, apesar de não trazerem nenhum prejuízo estrutural, estão em péssimas condições, com armadura exposta, destacamento do concreto etc. Em certas partes não será possível a manutenção da mureta, sendo mais viável a substituição da peça por completo.

4.2 Passarela da imaginação

A Passarela da Imaginação está localizada na Av. dos Andradas – Centro, Belo Horizonte, MG, no CEP 31050–240. A vista da obra de arte especial está ilustrada na Figura 14.

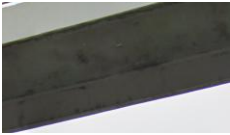


Figura 14 – Vista da passarela da imaginação

Fonte – A autora, 2025

Na Tabela 8, estão dispostas as manifestações patológicas identificadas na Passarela da Imaginação, bem como suas descrições, origens, consequências e avaliação.

Tabela 8 – Vistoria – Passarela da Imaginação

Manifestação patológica	Localização	Descrição	Origem	Consequência	Avaliação
	Acesso do lado esquerdo	Vegetação crescendo na passarela, corrosão do guarda-corpo e das demais partes de aço e destacamento do concreto.	Percolação livre de água pela junta que corroeu a armadura, produzindo expansão e destacamento do concreto.	Em estado avançado pode comprometer, além da estética, a estabilidade da estrutura.	Regular 
	Pilar de sustentação central	Eflorescências e trincas mostram degradação em alguns pontos da laje. Há também formação de limo e destacamento do concreto.	Percolação livre de água devido à falha dos dispositivos de drenagem.	Comprometimento estético e, se evoluir, pode comprometer a laje e, por consequência, a estabilidade da estrutura.	Regular 
	Laje inferior	Laje encontra-se fissurada em estado avançado.	Percolação livre de água devido à falha dos dispositivos de drenagem e falta de manutenção.	Se houver progressão das trincas/fissuras, pode haver o comprometimento da estrutura.	Regular 
	Escada de acesso	A escada encontra-se com muito limo e vegetação crescendo. O concreto está fissurado e a pintura descascando. A armadura da base do guarda-corpo está começando o processo de corrosão.	Percolação livre de água e falta de manutenção.	O limo faz com que a superfície perca a aderência podendo causar acidentes. A corrosão em estado avançado pode trazer a perda do guarda corpo.	Regular 

Manifestação patológica	Localização	Descrição	Origem	Consequência	Avaliação
	Patamar da escada de acesso.	Surgência de limo com deterioração do concreto que está em contato com a água diariamente. Oxidação de armadura exposta, concreto fissurado e eflorescência.	Percolação livre de água e falta de manutenção.	Este estado avançado de deterioração do concreto pode comprometer além da estética, a estabilidade da estrutura.	Crítico 

Conclusão

Fonte – A autora, 2025

4.2.1 Sugestões de conduta

Apresentam-se, neste tópico, algumas sugestões para mitigar as patologias identificadas na Passarela da Imaginação. Essa obra de arte especial não possui sistema de drenagem satisfatório, apresenta limo e fissuras em todo o seu comprimento.

Como sugestão de conduta, recomenda-se impermeabilizar as juntas de dilatação e, como sugestão pode-se seguir as recomendações da Figura 12. Atribuir uma pingadeira para que a água não escoe diretamente na superfície de concreto também é importante. Cabe destacar ainda que se faz necessário restaurar e pintar o guarda corpo, bem como impermeabilizar e pintar a passarela novamente.

4.3 Viaduto Itamar Franco

O Viaduto Itamar Franco está localizado na avenida Carlos Prates, Belo Horizonte, MG, no CEP 30410-640. A vista da obra de arte especial está ilustrada na Figura 15.



Figura 15 – Vista do viaduto Itamar Franco

Fonte – Google Maps, 2025

Na Tabela 9, estão dispostas as manifestações patológicas identificadas no Viaduto Itamar Franco, bem como suas descrições, origens, consequências e avaliação.

Tabela 9 – Vistoria – Viaduto Itamar Franco

Manifestação Patológica	Localização	Descrição	Origem	Consequência	Avaliação
	Acesso lado esquerdo	Vegetação crescendo na passarela, corrosão do guarda-corpo e das demais partes de aço e destacamento do concreto.	Percolação livre de água pela junta que corroeu a armadura, que expandiu e destacou o concreto.	Em estado avançado pode comprometer, além da estética, a estabilidade da estrutura.	Regular 
	Acesso lado esquerdo	Espaço excessivo de junta com a perda do material de vedação.	Falta de manutenção ou erro de execução.	Com a percolação da água, o concreto poderá ser danificado mais rapidamente.	Crítico 
	Acesso lado esquerdo	Espaço excessivo de junta com perda do material de vedação. Laje inferior fissurada.	Erro de execução da junta de concreto e falta de manutenção.	A fissura do concreto pode se agravar, comprometendo a estrutura.	Crítico 

Manifestação Patológica	Localização	Descrição	Origem	Consequência	Avaliação
	Acesso lado direito	Reparo feito na junta de concreto.	Erro de execução da junta de concreto.	Comprometimento da estética.	Mínimo 
	Parte superior do tabuleiro.	Mureta fissurada devido a impactos e desgaste. Grade de proteção com início de corrosão.	Falta de manutenção e exposição a intempéries.	Agravamento da fissuração da mureta e por consequência a sua perda estrutural.	Mínimo 
	Parte superior do tabuleiro.	Fiação exposta.	—	—	—

Conclusão

Fonte – A autora, 2025

4.3.1 Sugestão de conduta

Apresentam-se, neste tópico, algumas sugestões para mitigar as patologias identificadas no Viaduto Itamar Franco. Essa obra de arte especial não apresenta sistema de drenagem satisfatório, agravando assim, a formação de limo e fissuras em todo o seu comprimento.

Como sugestão de conduta, propõe-se avaliar o projeto e, se for possível, adotar novos sistemas de drenagem a fim de se melhorar o escoamento superficial da água. Um exemplo de sistema de drenagem comumente utilizado, são os condutos verticais expostos na Figura 13. Além disso, as juntas de dilatação apresentam trincas, fissuras e acúmulo de limo, possivelmente, devido a falhas no processo construtivo ou ao desgaste excessivo da edificação. Como medida corretiva, recomenda-se a impermeabilização das diversas partes da estrutura.

Durante a inspeção visual foi possível notar uma perda excessiva de concreto e do pavimento flexível na junta. Como solução, deve-se refazer a junta, colocando um novo material de suporte e elemento flexível para vedá-la. Para impermeabilizar as juntas de dilatação, que estejam conforme o projeto, como sugestão, pode-se seguir as recomendações da Figura 12.

4.4 Resultado e notas de classificação das obras de arte especiais.

Apresenta-se, neste tópico, a nota final das obras de arte especiais. Diante disso, a Tabela 10 traz as notas de classificação, em relação à caracterização estrutural, funcional e de durabilidade. Cabe destacar que não podem ser aferidos danos estruturais, nem soluções estruturais de reparo, dado que não foi realizada uma vistoria com os equipamentos adequados, devendo os órgãos competentes analisar a situação real das armaduras e do concreto para que, em conjunto ao projeto, as melhores soluções sejam encontradas.

Tabela 10 – Classificação Geral

Obra de arte especial	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
Viaduto São Francisco	3	3	3
Passarela da Imaginação	4	3	3
Viaduto Itamar Franco	3	3	3

Fonte – A autora, 2025

Na Tabela 11, apresenta-se o grau de risco, o fator agravante e o grau de risco final, assim como, a classificação final das estruturas, baseando-se nas informações anteriores.

Tabela 11 – Grau de risco e a classificação dos viadutos e passarela

Localização	(GR)	FA	(GR_f)	Classificação
Viaduto São Francisco	2,00	1,32	2,48	Médio
Passarela da Imaginação	1,77	1,10	1,95	Baixo
Viaduto Itamar Franco	1,80	1,10	1,98	Baixo

Fonte – A autora, 2025

No geral, as manifestações patológicas foram comuns às obras de arte especiais analisadas, reconhecendo-se um certo padrão de sua ocorrência e a água como principal agente causador. A falta de drenagem eficiente e as infiltrações levaram a tantos outros problemas como fissuras, degradação e destacamento do concreto, corrosão da armadura, erosões, presença de limo e vegetação, dentre outros. Ressalta-se que, apesar da classificação das O.A.E. não atingirem níveis ‘alto’ e nem ‘crítico’, conforme Tabela 11, ações de manutenções planejadas e rotineiras devem ser adotadas para evitar a evolução das patologias.

5. CONCLUSÃO

A metodologia adotada neste trabalho para avaliar o grau de severidade das manifestações patológicas dos viadutos e da passarela analisados mostrou-se adequada, uma vez que permitiu hierarquizar objetivamente as medidas de manutenção conforme a gravidade e a urgência de intervenção. Ressalta-se, contudo, a necessidade de que as patologias identificadas sejam posteriormente reavaliadas por profissionais especializados, utilizando equipamentos específicos e outras metodologias, a fim de garantir maior precisão, confiabilidade e abrangência nas análises, bem como subsidiar a definição das intervenções mais apropriadas.

Dentre as falhas observadas, destacaram-se aquelas relacionadas aos dispositivos de drenagem, que apresentaram maior relevância devido ao seu impacto direto na durabilidade e funcionalidade da infraestrutura. Além disso, constatou-se que a ausência de manutenção sistemática nas obras de arte constitui uma condição recorrente e preocupante, representando riscos significativos à segurança e à conservação das estruturas, o que reforça a necessidade de adoção de políticas preventivas, começando por rotinas de inspeção periódica.

Verifica-se, ainda, que a manutenção tem ocorrido de forma mais corretiva do que preventiva, configurando, assim, um fator determinante para a aceleração do processo de deterioração precoce das edificações. Essa abordagem reativa compromete a eficácia das intervenções, uma vez que elas tendem a ocorrer somente após o surgimento de falhas significativas, elevando os custos operacionais e reduzindo a vida útil dos sistemas construtivos. Nesse contexto, a ausência de uma gestão técnica estruturada para a manutenção compromete não apenas a durabilidade dos elementos construtivos, mas também aspectos relacionados à segurança, funcionalidade e desempenho da edificação ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – Partes 1–6: Desempenho de Edifícios Habitacionais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452 – Vistorias de Pontes e Viadutos de Concreto. Rio de Janeiro, 2023.

AGUIAR, J. E. História do Concreto Armado. Material de aula. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004. Define diretrizes curriculares nacionais para a educação profissional técnica de nível médio. Portal do MEC, Brasília, DF, 2004.

COSTA, G. M. Manifestação patológica do concreto armado com foco na oxidação da ferragem. 2013. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

EL DEBS, M. K.; TAKEYA, T. Pontes de concreto. São Carlos: USP, 1995.

FRAUCHES-SANTOS, C., ALBUQUERQUE, M. A., OLIVEIRA, M. C., ECHEVARRIA, A. A corrosão e os agentes anticorrosivos. Revista virtual de química, 6(2), 293-309, 2014.

GAITERO, J. J.; CAMPILLO, I.; GUERRERO, A. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles. Cement and Concrete Research, v. 38, p. 1112–1118, 2008.

GOOGLE MAPS. Passarela do Barreiro. 2024. Disponível em: <https://maps.app.goo.gl/vJXFMDjoktoCyP6E7>. Acesso em: 14 set. 2024.

GOOGLE EARTH. Passarela da Imaginação, viaduto São Francisco e Itamar Franco. 2025. Disponível em: Google Earth. Acesso em: 20 set. 2025

HELENE, P. R. L. Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo: Pini, 1986. 46 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. General Principles on the Design of Structures for Durability. ISO 13823. Geneva: ISO/TC, 2008.

KESHU, W.; LIN, L.; QIONG, X.; WEI, S. Spatial distribution of the increased porosity of cement paste due to calcium leaching. Journal of Wuhan University of Technology–Mater, p. 735–744, 2015.

LANER, F. J. Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MITRE, M. P. Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

NEUMANN JUNIOR, C. Avaliação do processo de lixiviação em concreto massa: o caso de Itaipu Binacional. 2013. 108 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2013.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. Revista Técnico-Científica, n. 1, 2013.

ROSA, A. C. C. Manifestações patológicas em viadutos de concreto armado: estudo de caso de 4 viadutos na cidade de Belo Horizonte. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

SENA, G. O.; NASCIMENTO, M. L. M.; NETO, A. C. N. Patologia das Construções. Salvador: 2B, 2020. 256 p.

SILVA, A. Y. O.; GODOY, G. H. A. M. Fissuras no concreto armado: causas, consequências, formas de mitigação e reparos. 2022. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

TANG, Y. J.; ZUO, X. B.; HE, S. L.; AYINDE, O.; YIN, G. J. Influence of slag content and water-binder ratio on leaching behavior of cement pastes. Construction and Building Materials, v. 129, p. 61–69, 2016.

TOFANETTO, C. P.; OLIVEIRA, A. M. Projeto de impermeabilização para estruturas de pontes e viadutos. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 2021.

VITÓRIO, J. A. P. Avaliação do grau de risco estrutural de pontes rodoviárias de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50., Salvador, 2008.

WIKIPÉDIA. Ponte de Pedra. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_de_Pedra. Acesso em: 16 mar. 2025.