



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

ALEX CONCEIÇÃO DOS SANTOS

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE INTEGRIDADE
ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL DE CONCRETO ARMADO**

TUCURUÍ
2025

ALEX CONCEIÇÃO DOS SANTOS

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE INTEGRIDADE
ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Manoel José Mangabeira
Pereira Filho

TUCURUÍ
2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

D722p Dos Santos, Alex Conceição.
Proposta de metodologia para avaliação de integridade
estrutural em edificação industrial de concreto armado / Alex
Conceição Dos Santos. — 2025.
88 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Manoel José Mangabeira Pereira Filho
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia
Civil, Tucuruí, 2025.

1. Estruturas de concreto armado. 2. Inspeção predial. 3.
Avaliação de estruturas. 4. Integridade estrutural. 5.
Infraestrutura industrial. I. Título.

CDD 620.137

ALEX CONCEIÇÃO DOS SANTOS

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE INTEGRIDADE
ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Data da aprovação: 19/05/2025

Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



MANOEL JOSE MANGABEIRA PEREIRA FILHO

Data: 16/06/2025 14:13:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Manoel José Mangabeira Pereira Filho (UFPA)
Doutor em Estruturas e Construção Civil (Orientador)

Documento assinado digitalmente



GRAZIELLE TIGRE DE SOUZA

Data: 12/06/2025 22:40:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Grazielle Tigre de Souza (UFPA)
Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (Examinadora Interna)

Documento assinado digitalmente



JOAO PAULO DE BARROS SANTOS

Data: 09/06/2025 20:55:06-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. João Paulo de Barros Santos (Vale S.A.)
Mestre em Estruturas e Construção Civil (Examinador Externo)

Documento assinado digitalmente



ANDRE LUIS SILVA BERNARDO

Data: 11/06/2025 09:47:32-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. André Luís Silva Bernardo (Vale S.A.)
Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, com sinceridade, a Deus. Não por me poupar dos caminhos difíceis, mas por, em sua bondade, permitir que, entre tantos possíveis, esse fosse o meu.

À minha mãe, Antônia Maria, e ao meu pai, Lucas Oliveira, minha gratidão pelo apoio constante, pelos valores que me ensinaram e pelo amor incondicional. Às minhas irmãs, Ludi Milla e Alice Valéria, agradeço por estarem sempre comigo, partilhando alegrias e desafios ao longo da caminhada.

Aos colegas de graduação, em especial a Iara Melissa e ao Tiago Barros, pela parceria e companheirismo ao longo dessa jornada. Mais do que compartilhar aulas e avaliações, dividimos incertezas, aprendizados e muitas conquistas.

À minha companheira de vida, Lecheane Silva, e à doce Ayla Louise, meu carinho e gratidão por todo o apoio, acolhimento e ensinamentos nesses últimos anos.

Agradeço ao meu colega Marcos Vinicius, pelas ideias compartilhadas e pela atenção dedicada a este trabalho.

Ao meu orientador, professor Dr. Manoel Mangabeira, deixo um agradecimento especial pela confiança, por acreditar na proposta desde o início e por todo o incentivo, orientação e disponibilidade ao longo desse processo.

Por fim, a todos os professores, colegas, técnicos, amigos e familiares que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este momento se realizasse. Cada palavra, gesto ou ensinamento teve seu valor neste percurso.

Muito obrigado!

“A medição é o primeiro passo que leva ao controle e, eventualmente, à melhoria. Se você não pode medir algo, você não pode entendê-lo. Se você não pode entendê-lo, você não pode controlá-lo. Se você não pode controlá-lo, você não pode melhorá-lo.” (HARRINGTON, 1993, p. 65)

RESUMO

Ambientes industriais impõem condições severas às estruturas de concreto armado, acelerando a deterioração e exigindo metodologias de inspeção capazes de quantificar, de forma padronizada, a integridade estrutural dos ativos. A metodologia GDE/UnB, amplamente utilizada em obras de arte especiais, apresenta limitações para o contexto industrial, como a interpretação pouco intuitiva dos resultados e a desconsideração de manifestações recorrentes de baixa intensidade. Diante disso, este trabalho propõe a metodologia GIE (Grau de Integridade Estrutural), uma adaptação da GDE que incorpora ajustes nos fatores de ponderação e intensidade, adota escala invertida e expressa os resultados em valores percentuais. A aplicação foi realizada em uma edificação industrial de concreto armado, utilizada no processo de beneficiamento de bauxita, a partir de inspeção visual e categorização das manifestações patológicas. Os resultados indicaram um percentual global de integridade de 84,79%, classificando a estrutura no nível “Boa”, com recomendação de manutenção preventiva e nova inspeção em até um ano. A metodologia GIE demonstrou-se eficaz na leitura técnica da integridade remanescente, contribuindo para a gestão de ativos estruturais em ambientes industriais agressivos.

Palavras-chave: Estruturas de concreto armado; Inspeção predial; Avaliação de estruturas; Integridade estrutural; Infraestrutura industrial.

ABSTRACT

Industrial environments impose severe conditions on reinforced concrete structures, accelerating deterioration and demanding inspection methodologies capable of quantifying, in a standardized manner, the structural integrity of assets. The GDE/UnB methodology, widely used in bridge and infrastructure assessments, presents limitations when applied to industrial contexts, such as non-intuitive interpretation of results and disregard for frequent low-intensity manifestations. In this context, the present study proposes the GIE (Structural Integrity Index) methodology, an adaptation of the GDE, incorporating adjustments to weighting and intensity factors, an inverted scale logic, and the expression of results in percentage values. The method was applied to a reinforced concrete industrial building used in bauxite processing, based on visual inspection and classification of pathological manifestations. The results indicated a global structural integrity index of 84.79%, classifying the structure at the “Good” level, with a recommendation for preventive maintenance and new visual inspection within one year. The GIE methodology proved to be effective in expressing residual structural integrity, contributing to asset management in aggressive industrial environments.

Keywords: Reinforced concrete structures; Building inspection; Structural assessment; Structural integrity; Industrial infrastructure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de VU com e sem manutenção	18
Figura 2 – Eflorescência	24
Figura 3 – Cobrimento deficiente da armadura	25
Figura 4 – Corrosão da armadura	26
Figura 5 – Desagregação do concreto.....	27
Figura 6 – Deslocamento do concreto	28
Figura 7 – Segregação do concreto.....	28
Figura 8 - Fissuras em viga de concreto armado	29
Figura 9 – Manchas em estruturas de concreto	30
Figura 10 – Infiltrações em estrutura predial.....	31
Figura 11 - Desvio de geometria	32
Figura 12 – Esmagamento do concreto	32
Figura 13 - Recalque.....	33
Figura 14 – Dano na junta de dilatação	34
Figura 15 – Fluxograma da metodologia GDE/UnB.....	36
Figura 16 – Fluxograma das adaptações.....	44
Figura 17 – Checklist de inspeção	49
Figura 18 – Fluxograma de aplicação da GIE	50
Figura 19 - Tipos de manifestações patológicas encontradas em cada família de elementos ..	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de dados mínimo e superior VUP.....	19
Tabela 2- Classe de agressividade ambiental (CAA)	21
Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	22
Tabela 4 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal	22
Tabela 5 - Modelo de ficha de inspeção para pilares	38
Tabela 6 - Exemplos de Fatores de intensidade (Fi)	39
Tabela 7 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento pela metodologia GDE/UnB	40
Tabela 8 - Fator de relevância estrutural	42
Tabela 9 – Fator de Ponderação	45
Tabela 10 - Adaptação do fator de intensidade (Fi)	46
Tabela 11 – Inversão dos valores do fator de relevância da família (Fr)	47
Tabela 12 – Classificação dos níveis de integridade estrutural (GIE) e ações recomendadas .	51
Tabela 13 – Quantidade de manifestações patológicas por família de elementos.....	53
Tabela 14 – Grau de integridade por família estrutural (Gif) e percentual de integridade (Gi%)	54
Tabela 15 – Resultados do grau de integridade global da edificação.....	54
Tabela 16 – Comparativo entre os resultados das metodologias GDE/UnB e GIE por família estrutural	55
Tabela 17 - Critérios de classificação do fator de intensidade (Fi) para cobrimento deficiente	56
Tabela 18 – Critérios de classificação do fator de intensidade (Fi) para cobrimento deficiente	57
Tabela 19 - Comparativo entre os resultados e recomendações das metodologias GIE e GDE/UnB	58
Tabela 20 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)	65
Tabela 21 – Listagem dos danos aplicados no método GDE/UnB.....	69
Tabela 22 – Listagem dos danos aplicados no método GIE.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CCA – Classe de Agressividade Ambiental

D – Grau de Dano

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

Fi - Fator de Intensidade

Fp - Fator de Ponderação

Fr - Fator de Relevância

Gd - Grau de Deterioração Global

Gde - Grau de Deterioração do Elemento

Gdf - Grau de Deterioração por Família

GIE - Grau de Integridade Estrutural

Gie - Grau de Integridade do Elemento

Gi - Grau de Integridade Global

Gif - Grau de Integridade por Família

GDE - Grau de Deterioração Estrutural

OAE - Obra de Arte Especial

VU – Vida Útil

VUP – Vida Útil de Projeto

VUR – Vida Útil Residual

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivo geral.....	14
1.3 Objetivos específicos.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Conceito de integridade estrutural	15
2.2 Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto Armado.....	16
2.2.1 Durabilidade e Desempenho de Estruturas de Concreto Armado	17
2.2.2 Vida Útil (VU)	17
2.2.3 Vida Útil de Projeto (VUP).....	18
2.2.4 Vida Útil Residual (VUR).....	20
2.3 Classe de Agressividade Ambiental (CAA).....	20
2.4 Principais Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto.....	23
2.4.1 Eflorescência	24
2.4.2 Cobrimento Deficiente da Armadura	24
2.4.3 Corrosão da Armadura	25
2.4.4 Desagregação do Concreto.....	26
2.4.5 Deslocamento do Concreto.....	27
2.4.6 Segregação do Concreto.....	28
2.4.7 Fissuração.....	29
2.4.8 Manchas	29
2.4.9 Infiltrações.....	30
2.4.10 Desvio de Geometria.....	31
2.4.11 Esmagamento do Concreto.....	32
2.4.12 Recalque	32
2.4.13 Danos em Junta de Dilatação	33
2.5 Metodologia GDE/UnB	34

	12
2.5.1 Famílias de Elementos	36
2.5.2 Fator de Ponderação (Fp)	37
2.5.3 Fator de Intensidade do Dano (Fi).....	38
2.5.4 Grau de Dano (D).....	39
2.5.5 Grau de Deterioração do Elemento (Gde).....	40
2.5.6 Grau de Deterioração de uma Família de Elementos (Gdf)	41
2.5.7 Fator de Relevância da Família (Fr).....	41
3 METODOLOGIA.....	42
3.1 Adaptação do fator de ponderação (Fp).....	44
3.2 Adaptação do fator de intensidade (Fi)	45
3.3 Adaptação da fórmula e renomeação do grau do dano (D).....	46
3.4 Inversão dos valores do fator de relevância da família (Fr)	47
3.5 Adaptação da fórmula do grau de deterioração de uma família de elementos (Gdf)	47
3.6 Procedimento de Inspeção	48
3.7 Aplicação da Metodologia GIE	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5 CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE A - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi).....	64
APÊNDICE B – Listagem dos danos aplicados no método GDE/UnB.....	68
APÊNDICE C – Listagem dos danos aplicados no método GIE.....	71

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é amplamente utilizado na construção civil devido à sua resistência, durabilidade e versatilidade. Sua aplicação se estende a diversas obras, incluindo edificações industriais, onde enfrenta condições ambientais adversas que podem comprometer sua integridade ao longo do tempo. No setor de mineração, estruturas destinadas ao beneficiamento de bauxita estão sujeitas à ação contínua da umidade, de agentes químicos e de sobrecargas operacionais. Essas sobrecargas decorrem principalmente das atividades de manutenção de equipamentos mecânicos pesados e da constante pressão por aumento da produção, exigência típica de empresas que buscam maior competitividade no mercado. Esses fatores combinados aceleram a deterioração do concreto e impactam diretamente sua vida útil. Assim, torna-se fundamental a realização de avaliações estruturais para garantir a segurança e funcionalidade dessas edificações (De Moraes et al., 2020).

A degradação estrutural pode resultar de falhas no projeto, na execução, no uso inadequado da edificação ou na ausência de manutenções preventivas. A ABNT NBR 15575-1 (2013) define que manifestações patológicas no concreto são não conformidades que podem surgir em qualquer fase da vida útil da estrutura. Em ambientes agressivos, como o encontrado em minas de bauxita, essas patologias tendem a se desenvolver de forma mais acelerada, tornando imprescindível a adoção de metodologias de avaliação que permitam monitorar e garantir a integridade estrutural das edificações industriais.

Nas práticas atuais de inspeção, observa-se a escassez de ferramentas padronizadas que permitam expressar com clareza a condição de integridade de estruturas submetidas a ambientes industriais agressivos. A metodologia GDE/UnB, desenvolvida por Castro (1994) e evoluída por autores como Fonseca (2007) e Verly (2015), consolidou-se como referência para avaliação de obras de arte especiais. Contudo, sua aplicação ao contexto industrial apresenta limitações relevantes: ausência de leitura percentual, desconsideração de manifestações leves recorrentes ($Gde < 15$) e dificuldade de comparação entre estruturas diferentes (Verly, 2015; Araújo Filho et al., 2022).

Diante desse cenário, este trabalho propõe a metodologia GIE – Grau de Integridade Estrutural –, uma adaptação da GDE voltada ao ambiente industrial. A proposta reformula os fatores de ponderação e intensidade, inverte a lógica de pontuação e expressa os resultados em termos percentuais. Isso permite uma leitura mais objetiva da integridade remanescente da estrutura, facilitando a priorização de intervenções, a gestão técnica de ativos e a rastreabilidade de inspeções.

Este estudo foi aplicado em uma edificação industrial de concreto armado com quatro pavimentos, utilizada no processo de beneficiamento de bauxita em ambiente de elevada agressividade. A metodologia GIE foi utilizada para diagnosticar o estado de integridade da estrutura a partir de inspeção visual e sistematização de manifestações patológicas. A análise dos resultados permitiu avaliar a aplicabilidade da proposta e sua aderência às necessidades do setor industrial, oferecendo uma ferramenta quantitativa para apoio à tomada de decisão.

1.1 Justificativa

A metodologia GDE/UnB foi desenvolvida para aplicação em edificações de concreto armado, porém, quando empregada em estruturas industriais, apresentou limitações quanto à aderência dos resultados à condição real dos ativos e à forma de apresentação dos dados para fins de tomada de decisão.

Nesse contexto, torna-se necessária a adequação da metodologia GDE/UnB às particularidades do ambiente industrial, que envolvem não apenas as características construtivas e operacionais dos ativos, mas também a forma como os resultados devem ser organizados e interpretados para fins de gestão. A reformulação dos coeficientes de avaliação e a conversão dos resultados para uma escala percentual buscam tornar os dados mais claros, comparáveis e aplicáveis à tomada de decisão técnica.

Portanto, a relevância deste trabalho reside na proposta de uma metodologia ajustada à realidade industrial, capaz de gerar indicadores de integridade estrutural que possam ser utilizados tanto por profissionais da área técnica quanto por gestores sem formação específica. A padronização dos resultados favorece a comunicação objetiva das informações e contribui para a priorização de intervenções com base em critérios consistentes e verificáveis.

1.2 Objetivo geral

Desenvolver e aplicar uma metodologia adaptada da GDE/UnB para avaliar o grau de integridade estrutural de edificações industriais em concreto armado, expostas a ambientes agressivos, considerando ajustes nos coeficientes de ponderação e intensidade e a transformação dos resultados em formato percentual, de modo a viabilizar a sua utilização como ferramenta de apoio à tomada de decisão técnica.

1.3 Objetivos específicos

- Desenvolver uma sistemática de avaliação que expresse o grau de integridade estrutural em formato percentual, facilitando a leitura, comparação e interpretação dos resultados;
- Validar a metodologia GIE por meio de sua aplicação em uma edificação industrial real, submetida a ambiente agressivo;
- Comparar os resultados obtidos pela metodologia GIE com os da GDE/UnB, utilizando o mesmo conjunto de dados como base de análise.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceito de integridade estrutural

A integridade estrutural é um conceito essencial na engenharia civil, referindo-se à capacidade de uma estrutura suportar as solicitações a que é submetida e continuar desempenhando suas funções ao longo do tempo, sem apresentar falhas que comprometam sua segurança ou desempenho. Esse conceito abrange a resistência física da estrutura e a manutenção de suas propriedades sob diferentes condições de uso e exposição (Botelho; Marchetti, 2018).

De acordo com Silva (2018), integridade estrutural pode ser compreendida como a resistência de um sistema estrutural à degradação provocada por diversos agentes, entre eles a fadiga, fissuração, corrosão, ataques químicos e ações físicas que contribuem para o comprometimento da estabilidade e durabilidade da estrutura. Tais manifestações patológicas são especialmente relevantes em estruturas de concreto armado expostas a ambientes agressivos, como os encontrados em instalações industriais e unidades de mineração.

A umidade, em particular, é apontada como um dos principais agentes desencadeadores de degradação em estruturas de concreto, favorecendo processos como a carbonatação e a corrosão das armaduras internas. Borges (2023) destacam que essa condição acelera o surgimento de patologias, sobretudo em componentes que apresentam falhas de cobertura, fissuras e interfaces mal protegidas, contribuindo significativamente para a redução da vida útil da edificação.

Estruturas industriais, a longo prazo, quando submetidas a essas condições de exposição, exigem a adoção de estratégias sistemáticas de monitoramento e manutenção preventiva. A avaliação da integridade estrutural passa, assim, a ser uma ferramenta indispensável para o gerenciamento técnico de ativos, permitindo a identificação precoce de falhas e a priorização de intervenções corretivas em tempo adequado (Borges et al., 2023). Essa abordagem é especialmente relevante em contextos nos quais a falha estrutural pode gerar não apenas prejuízos econômicos, mas também riscos operacionais e de segurança.

2.2 Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto Armado

As estruturas de concreto armado são amplamente empregadas em ambientes industriais em razão de sua resistência, versatilidade e relativa facilidade de execução. No entanto, a durabilidade dessas estruturas depende diretamente das condições ambientais a que estão expostas e da qualidade dos processos construtivos e de manutenção. Em cenários industriais, onde há constante presença de umidade, agentes químicos e sobrecargas operacionais, a degradação tende a ocorrer de forma acelerada, exigindo atenção redobrada ao seu desempenho ao longo do tempo (Dyer; Thomas, 2015).

A durabilidade estrutural é, portanto, um fator decisivo para garantir o prolongamento da vida útil das edificações e a segurança das operações. Historicamente, as estruturas de concreto eram projetadas com foco primário na resistência à compressão. Contudo, a partir do final do século XX, ampliou-se a abordagem projetual com a inclusão de parâmetros como desempenho, vida útil de serviço, ciclo de vida e sustentabilidade, considerando-se também os custos associados à manutenção e reabilitação ao longo do tempo (Possan; Demoliner, 2015).

Nesse sentido, a vida útil de uma estrutura pode ser definida como o período no qual ela permanece em condições adequadas de desempenho, considerando os requisitos técnicos, funcionais e de segurança. Conforme apontado por Führ (2017), mesmo com o uso de materiais adequados e técnicas construtivas modernas, é inevitável o surgimento de manifestações patológicas ao longo do tempo, sendo essencial a implementação de metodologias de monitoramento contínuo.

Ademais, em ambientes agressivos como o industrial, a correta previsão da durabilidade e da vida útil da estrutura é crucial para otimizar intervenções e garantir a confiabilidade operacional dos ativos. A aplicação de metodologias de avaliação baseadas na integridade estrutural, como a proposta neste estudo, contribui para que tais decisões sejam fundamentadas em dados quantitativos, promovendo a manutenção preditiva e a priorização de recursos.

2.2.1 Durabilidade e Desempenho de Estruturas de Concreto Armado

A durabilidade das estruturas de concreto armado é um fator essencial para assegurar a funcionalidade e segurança ao longo da vida útil da edificação, sobretudo em ambientes industriais agressivos. De acordo com Possan e Demoliner (2015), ao longo das últimas décadas, o conceito de durabilidade passou a integrar as diretrizes de projeto, em conjunto com o desempenho, a vida útil e os custos associados ao ciclo de vida da estrutura. Essa mudança foi motivada pelo aumento na incidência de manifestações patológicas precoces, associadas a falhas de projeto, execução, manutenção deficiente ou exposição a condições ambientais severas.

O desempenho, conforme estabelecido pela ABNT NBR 15575-1 (2013), está relacionado ao comportamento da edificação frente às solicitações de uso previstas, considerando requisitos como segurança, conforto, estanqueidade e facilidade de manutenção. Botelho e Marchetti (2018) destacam que o desempenho estrutural deve considerar também a resistência da estrutura à evolução de danos provocados por processos como fissuração, corrosão e perda de cobrimento. Em estruturas industriais, onde há intervenções frequentes, ciclos térmicos, umidade constante e agentes químicos, esse desempenho está diretamente associado à robustez do sistema construtivo e à eficácia das estratégias de manutenção.

2.2.2 Vida Útil (VU)

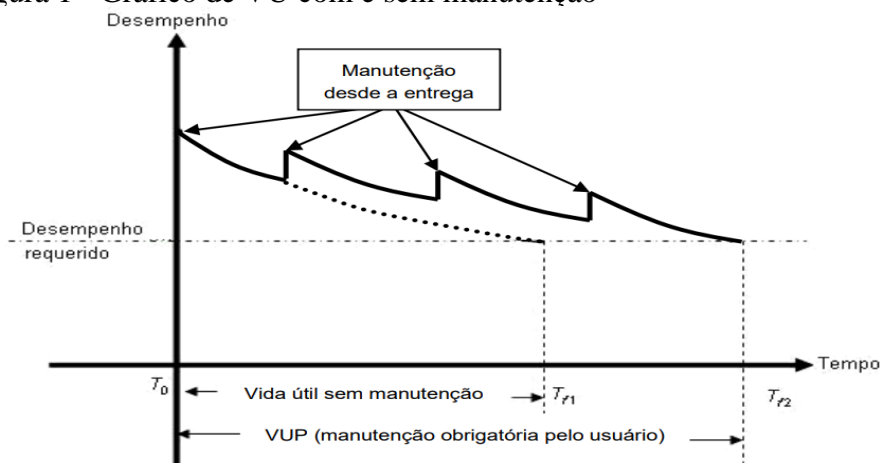
Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2024), a vida útil é definida como o período durante o qual a estrutura ou qualquer um de seus componentes atende às necessidades para as quais foi projetada, considerando a execução correta das manutenções periódicas. A vida útil real de uma estrutura é determinada por uma combinação de fatores teóricos previstos no projeto, como a escolha dos materiais, as ações de manutenção e as condições ambientais. Além disso, negligências em qualquer etapa da construção, falta de manutenção adequada ou exposição a agentes agressivos podem reduzir significativamente a vida útil projetada (Molin et al., 2016).

A previsão da vida útil de estruturas de concreto tem sido amplamente estudada, e diversos métodos têm sido aplicados para avaliar sua durabilidade. Modelos matemáticos, como a análise de Monte Carlo, permitem simular cenários de degradação considerando variáveis ambientais e propriedades dos materiais, contribuindo para a tomada de decisão sobre

estratégias de manutenção e reforço estrutural (Junior *et al.*, 2019). Em ambientes agressivos, como usinas de mineração, a utilização de materiais alternativos, como agregados sintéticos à base de resíduos de bauxita, tem sido uma estratégia promissora para melhorar a durabilidade e a sustentabilidade das estruturas (Machado, 2022).

Portanto, a durabilidade e a vida útil das estruturas de concreto armado dependem de uma abordagem integrada, que envolve o uso de materiais adequados, o cumprimento das diretrizes normativas e a implementação de práticas eficientes de manutenção. A adoção de métodos preditivos para avaliação da degradação estrutural permite não apenas prolongar a vida útil das edificações, mas também reduzir custos e impactos ambientais, tornando a construção civil mais segura e sustentável. Como pode ser observado na Figura 1, que apresenta, em um gráfico, os diferentes tipos de vida útil de estruturas com e sem manutenção.

Figura 1 - Gráfico de VU com e sem manutenção



Fonte: ABNT NBR 15575 (2024).

2.2.3 Vida Útil de Projeto (VUP)

Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2024), a VUP é definida como o período estimado para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nesta norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o cumprimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção.

É fundamental destacar que a VUP não deve ser confundida com vida útil real, durabilidade, prazo de garantia legal ou certificada, pois sua determinação é baseada em

condições ideais previstas em projeto, enquanto a vida útil real da estrutura depende de fatores variáveis, como a exposição a agentes agressivos, a adequação dos materiais e a execução eficiente das manutenções ao longo do tempo (Molin *et al.*, 2016).

A previsão da VUP é especialmente relevante para estruturas localizadas em ambientes agressivos, como usinas de mineração e regiões com elevada umidade ou poluição industrial. Nesses casos, a aplicação de técnicas avançadas, como modelagens matemáticas e simulações computacionais, auxilia na estimativa da degradação estrutural e na escolha de estratégias para prolongar a durabilidade da edificação (Rigo *et al.*, 2018).

Além disso, novas tecnologias vêm sendo incorporadas aos projetos estruturais para otimizar a VUP, como o uso de concretos de alto desempenho, aditivos que reduzem a permeabilidade do material e revestimentos protetores que minimizam os efeitos da carbonatação e da corrosão da armadura. A adoção dessas práticas permite um aumento significativo na longevidade das estruturas, reduzindo a necessidade de manutenções corretivas e contribuindo para a sustentabilidade na construção civil (Junior *et al.*, 2019).

Portanto, a Vida Útil de Projeto é um elemento essencial para o planejamento e a concepção de estruturas de concreto armado, sendo diretamente influenciada pela qualidade dos materiais, pelas condições ambientais e pelo cumprimento das diretrizes normativas. Projetar edificações com uma VUP bem definida e adotar práticas adequadas de manutenção são fatores determinantes para garantir a segurança, a eficiência e a durabilidade das estruturas ao longo do tempo. A Tabela 1 apresenta os dados mínimo e superior da VUP:

Tabela 1 - Tabela de dados mínimo e superior VUP

Sistema	VUP anos	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: ABNT NBR 15575 (2024).

2.2.4 Vida Útil Residual (VUR)

A Vida Útil Residual (VUR) refere-se ao período estimado em que uma estrutura permanece funcional e segura para uso após uma avaliação técnica detalhada. Diferente da Vida Útil de Projeto (VUP), que é uma previsão baseada em condições ideais, a VUR é determinada a partir de inspeções em estruturas existentes, levando em conta o nível de deterioração dos materiais, a presença de manifestações patológicas e a eficácia das manutenções realizadas ao longo do tempo.

A determinação da VUR pode ser realizada por meio de vistorias técnicas, ensaios laboratoriais e simulações numéricas, permitindo que os engenheiros avaliem o grau de comprometimento estrutural e definam medidas corretivas ou reforços necessários. Além disso, em casos de reabilitação ou reformas estruturais, a VUR é um parâmetro fundamental para estabelecer a viabilidade técnica e econômica da continuidade do uso da edificação (Molin et al., 2016).

No contexto de estruturas industriais, como usinas de mineração, a VUR assume um papel ainda mais crítico, pois a exposição contínua a agentes químicos e variações térmicas pode acelerar o processo de degradação estrutural. Dessa forma, a aplicação de técnicas avançadas, como a análise de confiabilidade estrutural e modelagens baseadas no Grau de Integridade da Estrutura (GIE), contribui significativamente para a estimativa precisa da VUR e para a tomada de decisões sobre reparos ou substituições de componentes (Rigo; Oliveira; Possan, 2018).

2.3 Classe de Agressividade Ambiental (CAA)

A Classe de Agressividade Ambiental (CAA) é um conceito normativo que classifica os níveis de exposição das estruturas de concreto armado a agentes físicos e químicos que podem comprometer sua durabilidade ao longo do tempo. Segundo a NBR 6118 (2024), a CAA está relacionada aos efeitos ambientais sobre o concreto, sendo independente de outros fatores, como cargas mecânicas, retração térmica ou variações volumétricas. A Tabela 2, apresenta um resumo das classificações estabelecidas pela norma para diferentes condições de exposição das estruturas:

Tabela 2- Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de Agressividade Ambiental (CAA)	Descrição do Ambiente	Exemplos de Aplicação
CAA I – Fraca	Ambientes internos secos ou protegidos da umidade. Exposição ocasional à	Edifícios residenciais e comerciais sem contato direto com agentes agressivos.
CAA II – Moderada	umidade ou agentes químicos de baixa concentração.	Áreas externas protegidas, garagens cobertas e fundações enterradas em solo seco.
CAA III – Forte	Ambientes com alta umidade, presença de CO ₂ e agentes agressivos moderados.	Estruturas próximas ao mar, túneis, estações de tratamento de esgoto e indústrias químicas.
CAA IV – Muito Forte	Exposição severa a agentes agressivos, alta salinidade ou produtos químicos corrosivos.	Pontes em regiões litorâneas, estruturas submersas, pisos industriais e usinas de mineração.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2024).

Segundo Junior (2019) correta identificação da CAA é essencial para a definição dos critérios de projeto e especificação dos materiais, garantindo maior resistência e durabilidade das estruturas. No setor industrial, especialmente em usinas de lavagem de bauxita, as estruturas estão frequentemente expostas a ambientes de agressividade forte ou muito forte, devido ao contato com substâncias químicas corrosivas e alta umidade. Assim, a escolha de concretos de alto desempenho, revestimentos protetores e técnicas de mitigação de degradação se torna indispensável para garantir a longevidade da construção.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2024), após a realização dos ensaios comprobatórios de desempenho e durabilidade da estrutura, frente ao tipo de agressividade ambiental prevista no projeto, devem ser estabelecidos os parâmetros mínimos a serem atendidos. Esses critérios garantem que a estrutura mantenha sua vida útil, reduzindo riscos de degradação precoce.

Entre os fatores determinantes para a durabilidade do concreto, a relação água/cimento se destaca devido à sua forte correlação com a resistência à compressão e a permeabilidade do material. Um baixo fator água/cimento resulta em uma estrutura mais densa e durável, com menor suscetibilidade a ataques químicos, carbonatação e penetração de íons agressivos, como cloretos e sulfatos. Nesse contexto, a Tabela 3 apresenta os requisitos mínimos para diferentes classes de agressividade ambiental (CAA), considerando a relação água/cimento, resistência à compressão e espessura mínima do cobrimento da armadura.

Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Classe de Agressividade Ambiental (CAA)	Relação Água/Cimento Máxima	Resistência à Compressão Mínima (MPa)	Cobrimento Mínimo (mm)
CAA I – Fraca (Ambientes internos secos)	0,65	20 MPa	20 mm
CAA II – Moderada (Exposição ocasional à umidade)	0,6	25 MPa	25 mm
CAA III – Forte (Alta umidade, presença de CO ₂ e agentes agressivos moderados)	0,5	30 MPa	35 mm
CAA IV – Muito Forte (Ambientes severamente agressivos, alta salinidade e agentes corrosivos)	0,45	40 MPa	45 mm

Fonte: ABNT NBR 6118 (2024).

O atendimento a esses requisitos é essencial para prolongar a vida útil das estruturas de concreto armado e reduzir a necessidade de manutenções corretivas. Além disso, medidas adicionais, como o uso de aditivos impermeabilizantes, concretos de alta resistência e proteção catódica, podem ser adotadas para reforçar a durabilidade em ambientes CAA III e CAA IV, como em usinas de mineração e estruturas marítimas (Rigo; Oliveira; Possan, 2018).

A NBR 6118 (ABNT, 2024) também estabelece que a segurança e estabilidade das estruturas estão diretamente relacionadas às características do concreto, à espessura do cobrimento da armadura e à sua qualidade. O cobrimento da armadura desempenha um papel essencial na proteção contra a corrosão, especialmente em ambientes agressivos, onde a penetração de agentes como dióxido de carbono (CO₂), cloretos e sulfatos podem comprometer a durabilidade da estrutura. A Tabela 4 apresenta a espessura mínima recomendada para o cobrimento da armadura, conforme a classe de agressividade ambiental (CAA):

Tabela 4 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

Classe de Agressividade Ambiental (CAA)	Cobrimento Mínimo (mm)	Ambiente Típico
CAA I – Fraca	20 mm	Ambientes internos secos
CAA II – Moderada	25 mm	Exposição ocasional à umidade
CAA III – Forte	35 mm	Alta umidade, CO ₂ e agentes agressivos moderados

CAA IV – Muito Forte	45 mm	Ambientes altamente agressivos, como áreas industriais, marítimas e mineradoras
----------------------	-------	---

Fonte: ABNT NBR 6118 (2024).

A norma reforça que o cobrimento da armadura deve ser projetado considerando não apenas as condições ambientais da estrutura, mas também a vida útil de projeto (VUP) e os critérios de durabilidade exigidos. Em casos de estruturas expostas a CAA III e CAA IV, recomenda-se o uso de aditivos impermeabilizantes, concretos especiais e técnicas de proteção catódica, garantindo maior longevidade e confiabilidade estrutural.

2.4 Principais Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado representam um dos principais desafios para a engenharia civil, pois podem comprometer a durabilidade, a segurança e a funcionalidade das edificações. Essas manifestações podem ocorrer devido a erros na fase de projeto, execução inadequada, uso de materiais de baixa qualidade ou pela ação de agentes ambientais agressivos. Conforme Almeida (2016), compreender as causas dessas manifestações patológicas é essencial para garantir a longevidade das estruturas e minimizar os custos com manutenções corretivas.

De acordo com Borges e Pedreiro (2023), a umidade é um dos principais fatores que desencadeiam processos de degradação no concreto, pois favorece a lixiviação de compostos, a corrosão das armaduras e o surgimento de fissuras. Além disso, Oliveira (2020) destaca que a durabilidade das estruturas de concreto está diretamente relacionada à qualidade dos materiais empregados, ao correto dimensionamento dos elementos estruturais e à manutenção preventiva ao longo do tempo.

Diante desse contexto, é fundamental conhecer as principais manifestações patológicas que afetam o concreto armado, suas causas e os danos que podem causar à estrutura. A seguir, serão abordados alguns dos problemas mais recorrentes nas edificações, com ênfase em suas características e consequências.

2.4.1 Eflorescência

A eflorescência é uma manifestação patológica que se caracteriza pelo aparecimento de manchas esbranquiçadas na superfície do concreto. Esse fenômeno ocorre devido à migração de soluções salinas dissolvidas na umidade, que se deslocam por ação capilar para a superfície do concreto e reagem com o dióxido de carbono (CO_2) presente no ar. Segundo Farinacio e Assis (2018), essa reação resulta na formação de carbonato de cálcio, que se deposita na superfície da estrutura, alterando sua aparência estética.

Embora a eflorescência não comprometa diretamente a resistência do concreto, sua presença pode indicar problemas de infiltração de água, o que, a longo prazo, pode levar a outras manifestações patológicas, como a corrosão das armaduras. Além disso, a presença recorrente desse fenômeno pode reduzir a aderência de revestimentos e pinturas aplicadas ao concreto, dificultando sua conservação e manutenção. Na Figura 2 exemplifica alguns casos de eflorescência na face inferior de um tabuleiro (a) e na cortina de concreto (b) respectivamente.

Figura 2 – Eflorescência



Fonte: Silva (2019).

2.4.2 Cobrimento Deficiente da Armadura

A camada de cobertura em uma peça de concreto armado tem um papel fundamental na proteção das armaduras contra a ação de agentes agressivos, como umidade e substâncias químicas. Quando esse cobertura é insuficiente, a armadura fica mais exposta, aumentando a probabilidade de corrosão e comprometendo a durabilidade da estrutura. Conforme Weber (2014), a espessura e a qualidade do concreto de cobertura influenciam diretamente a resistência mecânica da estrutura, pois afetam a aderência entre o concreto e o aço das armaduras.

A insuficiência do cobrimento pode ser consequência de falhas na execução da concretagem, uso inadequado de espaçadores ou até mesmo erros no projeto estrutural. Além disso, a baixa qualidade do concreto de cobrimento pode acelerar a penetração de agentes agressivos, como cloretos e dióxido de carbono, intensificando o processo de degradação da armadura. Logo abaixo, na Figura 3 é demonstrado um exemplo de cobrimento deficiente de armadura em uma viga.

Figura 3 – Cobrimento deficiente da armadura



Fonte: Lottermann (2013).

2.4.3 Corrosão da Armadura

A corrosão das armaduras constitui uma das principais causas de deterioração em estruturas de concreto armado, podendo comprometer significativamente sua resistência e estabilidade ao longo do tempo. Esse processo tem início quando agentes agressivos externos, como dióxido de carbono e íons cloreto, penetram no concreto e atingem a armadura, promovendo a despassivação da camada protetora de óxidos que naturalmente recobre o aço em meio alcalino. De acordo com Conte (2024), a carbonatação do concreto e a contaminação por cloretos são os principais mecanismos que provocam essa perda da passividade, favorecendo reações eletroquímicas que resultam na formação de produtos expansivos. Esses compostos, ao se acumularem, exercem pressões internas que geram fissuras e deslocamentos no concreto de cobrimento, acelerando o processo de degradação estrutural.

O concreto, por sua natureza alcalina, mantém a armadura protegida contra a corrosão devido à formação de uma película passivadora ao redor do aço. No entanto, quando o pH do

concreto é reduzido devido à carbonatação ou à ação de substâncias agressivas, essa proteção é perdida e o processo de corrosão é iniciado. A corrosão eletroquímica do aço leva ao aumento do seu volume, gerando tensões internas que causam fissuras no concreto e aceleram o processo de degradação da estrutura. Na Figura 4 é demonstrado a corrosão de uma armadura exposta.

Figura 4 – Corrosão da armadura



Fonte: Oliveira (2019).

2.4.4 Desagregação do Concreto

A desagregação do concreto é um fenômeno que provoca a perda de coesão entre seus constituintes, levando à separação de fragmentos e comprometendo a integridade estrutural. Esse problema pode ser causado por diversos fatores, como variações bruscas de temperatura, exposição a substâncias químicas agressivas, impactos mecânicos e processos de expansão e retração volumétrica. Conforme Moraes (2020), a desagregação do concreto pode se manifestar como a queda de pequenos fragmentos da superfície ou como grandes desprendimentos, resultando em sérios riscos estruturais.

Entre as causas mais comuns da desagregação está a corrosão das armaduras, que provoca a expansão do aço e a consequente delaminação do concreto. Além disso, a exposição do concreto a ciclos de congelamento e descongelamento pode levar à perda de aderência entre seus constituintes, aumentando sua fragilidade. A ação de agentes químicos, como sulfatos e ácidos, também pode deteriorar a matriz cimentícia, acelerando o processo de desagregação. Na Figura 5 é apresentado a segregação do concreto e duas vigas (a, b).

Figura 5 – Desagregação do concreto



Fonte: Costa (2016).

2.4.5 Deslocamento do Concreto

O deslocamento do concreto é uma manifestação patológica que ocorre quando partes da superfície do concreto se soltam da estrutura, expondo as armaduras e comprometendo a integridade da edificação. Esse fenômeno está frequentemente associado à corrosão das armaduras, cujo subproduto — os óxidos de ferro formados durante o processo de oxidação — possui volume superior ao do aço original. A acumulação desses produtos na interface entre o aço e o concreto gera tensões de tração que provocam fissuração e o posterior deslocamento. Segundo Oliveira (2017), esse tipo de degradação pode reduzir significativamente a vida útil da estrutura, além de representar um risco de acidentes, especialmente em edificações com grande circulação de pessoas.

Além da corrosão da armadura, o deslocamento pode ser causado por falhas na execução da concretagem, uso de materiais de baixa qualidade ou exposição da estrutura a ciclos térmicos intensos, que provocam contrações e expansões sucessivas. A infiltração de água também é um fator agravante, pois acelera os processos químicos que levam à degradação do concreto e à perda de aderência entre seus constituintes. Na Figura 6 é mostrado o deslocamento da camada de cobertura (a e b) e exposição de armadura (a e b).

Figura 6 – Deslocamento do concreto



Fonte: Oliveira (2017).

2.4.6 Segregação do Concreto

A segregação do concreto ocorre quando há a separação dos seus componentes durante a mistura, transporte ou lançamento na estrutura, resultando em um material heterogêneo e comprometendo sua resistência mecânica. Esse problema pode acontecer devido a erros na dosagem dos materiais, falta de controle no processo de mistura ou falhas na execução, como lançamento inadequado do concreto em grandes alturas. Conforme Moraes (2020), a segregação pode ser identificada visualmente pela concentração de agregados grossos em determinadas áreas da estrutura e pela exsudação excessiva de água na superfície.

A segregação pode afetar diretamente a durabilidade e a resistência da estrutura, pois compromete a aderência entre os constituintes do concreto e pode gerar vazios internos, reduzindo a capacidade de suporte de cargas. Além disso, a presença de zonas segregadas pode facilitar a entrada de umidade e agentes agressivos, favorecendo a corrosão das armaduras e acelerando o processo de deterioração da edificação. Na Figura 7 são apresentadas as manifestações patológicas de segregação em uma viga (a) e em uma laje (b) respectivamente.

Figura 7 – Segregação do concreto



Fonte: Silva; Lauresen (2022).

2.4.7 Fissuração

As fissuras são uma das manifestações patológicas mais comuns em estruturas de concreto e podem ter diversas origens, desde retração plástica e térmica até sobrecarga excessiva e movimentações estruturais. A presença de fissuras pode comprometer a estética, a funcionalidade e a durabilidade da edificação, pois facilita a penetração de umidade e agentes agressivos que aceleram a degradação do concreto e das armaduras. Segundo Oliveira (2020), a correta identificação da causa das fissuras é essencial para definir as medidas de reparo adequadas e evitar a progressão dos danos estruturais.

As fissuras podem ser classificadas em estruturais e não estruturais. As fissuras estruturais estão diretamente relacionadas a problemas na concepção do projeto ou na execução da obra e podem indicar riscos à estabilidade da edificação. Já as fissuras não estruturais, como aquelas causadas pela retração do concreto durante a cura, geralmente afetam apenas a estética da estrutura, mas ainda assim exigem atenção para evitar a infiltração de água e agentes corrosivos. A Figura 8 apresenta uma estrutura de concreto com a manifestação de fissuras.

Figura 8 - Fissuras em viga de concreto armado



Fonte: Silva (2023).

2.4.8 Manchas

As manchas em superfícies de construções são indicativos visuais de problemas que podem comprometer a durabilidade e a estética das edificações. Elas costumam estar associadas à umidade, infiltração e, em alguns casos, à presença de agentes químicos que reagem com os materiais da estrutura. Essas descolorações podem surgir em paredes, tetos e pisos,

especialmente em áreas onde a água tende a se acumular, como banheiros, cozinhas e fachadas expostas à chuva. Além disso, manchas escuras, esverdeadas ou amareladas frequentemente estão relacionadas à presença de mofo e bolor, o que pode representar um risco à saúde dos ocupantes.

Segundo Oliveira (2020), a umidade excessiva responsável pelas manchas pode ter diversas origens, como falhas na impermeabilização, vazamentos hidráulicos, condensação ou infiltrações advindas do solo. Além da questão estética, essas manchas indicam que há um problema estrutural que precisa ser corrigido para evitar maiores danos, como degradação do reboco, deslocamento de revestimentos e corrosão de armaduras. Na Figura 9 são exemplificados a manifestação patológica de manchas em estruturas de concreto.

Figura 9 – Manchas em estruturas de concreto



Fonte: Ferreira (2016).

2.4.9 Infiltrações

A infiltração é um dos problemas mais recorrentes em construções e ocorre quando a água consegue penetrar na edificação, comprometendo a integridade dos materiais e a estabilidade estrutural. A água pode adentrar a estrutura por diversas vias, como fissuras, falhas na impermeabilização de lajes e fundações ou até mesmo por capilaridade, quando a umidade do solo sobe pelas paredes. Segundo Borges e Pedreiro (2023), esse tipo de problema é frequentemente encontrado em áreas mais expostas às intempéries, como coberturas, fachadas e fundações.

As infiltrações podem ter consequências graves para a edificação e seus ocupantes. Conforme Almeida (2016), a umidade em excesso pode deteriorar revestimentos, enfraquecer argamassas e até comprometer a estrutura de concreto armado, acelerando processos de corrosão das armaduras. Além disso, infiltrações podem criar um ambiente propício para a

proliferação de fungos e bactérias, afetando a qualidade do ar interno e causando problemas respiratórios nos moradores. A Figura 10 apresenta a presença de infiltração em uma laje e viga, que pode danificar a integridade da estrutura.

Figura 10 – Infiltrações em estrutura predial



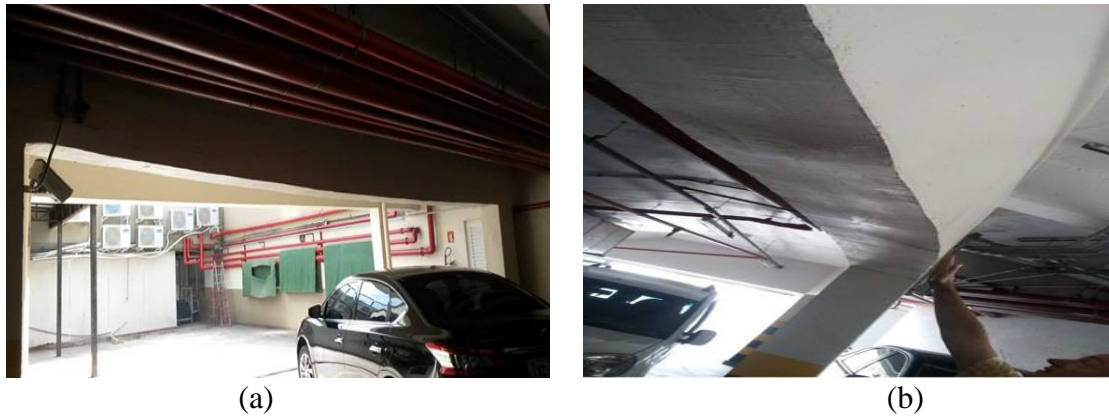
Fonte: Nunes; Gregório (2024).

2.4.10 Desvio de Geometria

O desvio de geometria se refere a deformações que alteram as dimensões e o alinhamento de uma estrutura, comprometendo sua estabilidade e funcionalidade. Segundo Almeida (2016), esse problema pode ocorrer devido a erros na execução da obra, recalques diferenciais do solo ou variações volumétricas dos materiais utilizados na construção. As consequências do desvio de geometria podem incluir desalinhamento de pilares e vigas, paredes fora do prumo e pisos desnivelados, impactando tanto a estética quanto a segurança da edificação.

Conforme Moraes (2020), o desvio de geometria também pode estar relacionado a patologias estruturais mais graves, como fissuração excessiva e deslocamentos significativos, indicando a necessidade de intervenções corretivas. Na Figura 11, são apresentados elementos estruturais de secções não uniformes que podem ocasionar danos futuros.

Figura 11 - Desvio de geometria



Fonte: Almeida (2016).

2.4.11 Esmagamento do Concreto

O esmagamento do concreto ocorre quando a estrutura é submetida a cargas superiores àquelas para as quais foi projetada. Segundo Conte (2024), esse fenômeno pode ser resultado de falhas no dimensionamento da estrutura, sobrecargas imprevistas ou degradação dos materiais ao longo do tempo. O concreto esmagado perde sua capacidade de resistir aos esforços, podendo apresentar trincas, fissuras e desagregação de partículas. A Figura 12 apresenta alguns exemplos de elementos estruturais sofrendo esmagamento do concreto.

Figura 12 – Esmagamento do concreto



Fonte: Ferreira (2016).

2.4.12 Recalque

O recalque é o assentamento diferencial de uma edificação provocado por alterações nas condições de suporte do solo, podendo resultar em fissuras, desnivelamentos e deformações

estruturais. Esse fenômeno pode ocorrer em diversos cenários, como falhas no dimensionamento da fundação em relação às cargas da estrutura, variações na umidade do solo, sobreposição de bulbos de tensão com edificações vizinhas ou até mesmo processos de lixiviação causados por tubulações rompidas nas proximidades. Conforme Borges e Pedreiro (2023), esse fenômeno ocorre quando a fundação não é dimensionada adequadamente para suportar as cargas da estrutura, ou quando há variações na umidade do solo que alteram sua capacidade de suporte.

Segundo Almeida (2015), recalques podem ser classificados como uniformes, quando toda a estrutura afunda de maneira homogênea, ou diferenciais, quando ocorrem de forma irregular, criando esforços adicionais que comprometem a estabilidade da construção. A figura 13 mostra o efeito do recalque em estruturas de concreto.

Figura 13 - Recalque



Fonte: Ferreira (2016).

2.4.13 Danos em Junta de Dilatação

As juntas de dilatação são dispositivos construtivos projetados para acomodar os movimentos naturais dos materiais provocados por variações térmicas, retrações higroscópicas e recalques diferenciais, prevenindo o surgimento de fissurações e outros danos nas estruturas. De acordo com Lima (2016), a ausência ou o dimensionamento inadequado dessas juntas pode gerar tensões internas excessivas, levando ao surgimento de manifestações patológicas que podem comprometer a durabilidade da edificação. A figura 14 apresenta manifestações patológicas que surgem por mal execução das juntas de dilatação, como deslocamento (a) e infiltração (b).

Figura 14 – Dano na junta de dilatação



Fonte: Côco (2024).

2.5 Metodologia GDE/UnB

A Metodologia de Grau de Dano Estrutural (GDE/UnB) foi desenvolvida no contexto da Universidade de Brasília (UnB) com o objetivo de avaliar e classificar manifestações patológicas em edificações de concreto armado. Essa metodologia surgiu a partir da necessidade de um sistema mais preciso e sistemático para analisar o estado de conservação das estruturas e otimizar planos de manutenção.

O conceito inicial da metodologia foi introduzido por Castro, em 1994, em sua tese de doutorado intitulada *Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado*, durante seu programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil. Nesse trabalho, Castro propôs o uso do Fator de Intensidade do Dano (F_i), um parâmetro que mede a severidade dos danos estruturais com base na sua frequência dentro de um conjunto de elementos analisados. A proposta foi inovadora, pois permitia classificar diferentes tipos de danos estruturais e estabelecer prioridades para intervenções corretivas.

Com o passar dos anos, a metodologia GDE/UnB passou por refinamentos e adaptações, tornando-se uma ferramenta amplamente utilizada em avaliações de obras de arte especiais e edificações. Segundo Costa (2016), a GDE/UnB foi aplicada com sucesso na avaliação de manifestações patológicas em pontes e viadutos, demonstrando sua versatilidade e eficácia na detecção de problemas críticos que podem comprometer a segurança e a durabilidade das construções.

A metodologia baseia-se em um sistema de classificação que agrupa os danos estruturais em famílias, facilitando a análise comparativa entre diferentes elementos de uma mesma edificação. De acordo com Lima (2018), essa abordagem permite identificar padrões de degradação e antecipar falhas estruturais, possibilitando ações preventivas antes que os

problemas se agravem. Essa característica torna a GDE/UnB uma ferramenta estratégica para a gestão de manutenção em grandes estruturas.

Além de sua aplicação em inspeções de rotina, a metodologia tem sido amplamente estudada e aprimorada por diversos pesquisadores. Teles (2019) destaca que a GDE/UnB também pode ser utilizada para realizar análises quantitativas em estruturas similares, permitindo comparações estatísticas que auxiliam no diagnóstico e na tomada de decisão quanto à necessidade de reforços estruturais ou intervenções emergenciais.

Outro aspecto importante da metodologia é sua relação com técnicas de ensaio não destrutivo, que possibilitam a avaliação do estado estrutural sem comprometer a integridade dos elementos analisados. Araújo Filho, Silva e Mariani (2022) apontam que a integração da GDE/UnB com ensaios de potencial de corrosão tem se mostrado uma abordagem eficiente para prever a degradação de estruturas de concreto armado, especialmente em ambientes agressivos.

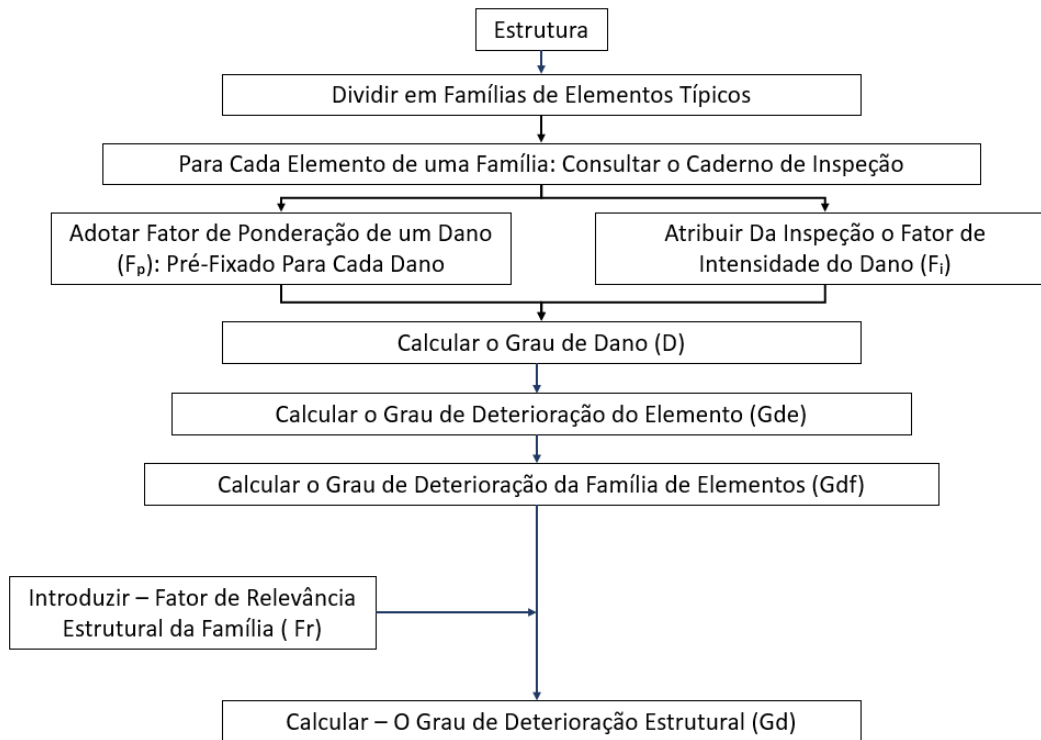
A aplicação prática da metodologia segue um fluxo estruturado, iniciando-se com o levantamento e a inspeção visual dos elementos construtivos. Em seguida, os danos são classificados de acordo com critérios estabelecidos, permitindo a determinação do Grau de Danificação Estrutural. Esse índice é um dos principais indicadores utilizados para definir a urgência das intervenções necessárias.

Conforme Lima (2018), um dos diferenciais da GDE/UnB é sua adaptabilidade a diferentes contextos e tipos de estruturas, possibilitando sua aplicação tanto em edificações antigas quanto em construções recentes. Essa flexibilidade faz com que a metodologia seja adotada em estudos acadêmicos e no setor de engenharia civil.

Outro ponto relevante é o impacto econômico da aplicação da metodologia. Segundo Costa (2016), ao permitir um planejamento mais eficiente da manutenção, a GDE/UnB contribui para a otimização de recursos financeiros e operacionais, evitando desperdícios e reduzindo os custos associados à recuperação de estruturas deterioradas.

A Metodologia GDE/UnB se destaca como uma ferramenta para a engenharia de manutenção e inspeção estrutural. Seu desenvolvimento ao longo dos anos e sua consolidação na literatura técnica demonstram sua relevância para a preservação de edificações e obras de infraestrutura, garantindo maior segurança e longevidade às construções de concreto armado. O fluxograma apresentado na Figura 15, foi desenvolvido por Castro (1994), e tem como objetivo separar as etapas da metodologia, que devem ser seguidas em sequência.

Figura 15 – Fluxograma da metodologia GDE/UnB.



Fonte: Adaptado de Castro (1994).

2.5.1 Famílias de Elementos

A Metodologia GDE/UnB classifica os elementos estruturais em famílias, agrupando-os com base em suas características e funções específicas dentro da construção. Essa abordagem permite que a análise seja mais organizada e direcionada, facilitando a avaliação comparativa entre diferentes estruturas. Segundo Costa (2016), a segmentação dos elementos estruturais em grupos específicos é essencial para uma correta identificação e priorização das manifestações patológicas.

As famílias de elementos são definidas conforme as especificações da edificação e podem variar de acordo com o tipo de estrutura avaliada. No entanto, a metodologia estabelece seis grupos principais:

- Pilares: elementos verticais responsáveis pela transmissão das cargas da estrutura para as fundações;
- Vigas: elementos estruturais horizontais que transferem cargas das lajes para os pilares;
- Vigas secundárias: vigas de menor porte que auxiliam na distribuição das cargas, geralmente conectadas a vigas principais;

- Lajes: superfícies horizontais que suportam as cargas aplicadas e as distribuem para vigas e pilares;
- Escadas: elementos estruturais que permitem a circulação vertical dentro da edificação;
- Rampas: elementos inclinados utilizados para o deslocamento de pessoas e veículos entre diferentes níveis da construção.

A divisão em famílias é essencial para a correta aplicação do método, pois possibilita uma análise detalhada das manifestações patológicas em cada elemento e uma melhor compreensão da distribuição dos danos estruturais. De acordo com Lima (2018), essa categorização permite que o Grau de Danificação Estrutural (GDE) seja aplicado de maneira mais precisa, garantindo maior confiabilidade na tomada de decisões relacionadas à manutenção.

2.5.2 Fator de Ponderação (Fp)

A avaliação da severidade das manifestações patológicas em uma estrutura requer um critério objetivo para classificar os danos encontrados. Para isso, a Metodologia GDE/UnB utiliza o Fator de Ponderação (Fp), que estabelece uma escala numérica para classificar os problemas identificados durante a inspeção.

Os métodos tradicionais de inspeção estrutural muitas vezes são limitados por não considerarem o impacto real das manifestações patológicas na funcionalidade e segurança das edificações. Segundo Teles (2019), a introdução do Fator de Ponderação na metodologia GDE/UnB foi um avanço significativo, pois permitiu quantificar os danos de forma mais precisa, levando em conta aspectos estéticos, funcionais e estruturais.

O Fator de Ponderação varia de 1 a 5, sendo atribuído a cada manifestação patológica observada com base em sua gravidade e potencial de comprometimento da estrutura. De acordo com Araújo Filho, Silva e Mariani (2022), a utilização do Fator de Ponderação permite que os engenheiros priorizem as ações corretivas e preventivas com base em um critério padronizado, otimizando os recursos disponíveis e aumentando a segurança das edificações. Além disso, essa abordagem auxilia na definição de estratégias de manutenção que minimizam custos e evitam intervenções desnecessárias.

A combinação da classificação em famílias de elementos e a aplicação do Fator de Ponderação torna a metodologia GDE/UnB uma ferramenta eficiente para a avaliação estrutural. Essa abordagem permite um diagnóstico mais preciso e embasado, favorecendo a

assertividade na tomada de decisões para garantir maior durabilidade às estruturas de concreto armado.

Desde a primeira versão do estudo de Castro (1994), a metodologia GDE/UnB utiliza formulários que são preenchidos durante o estudo da estrutura, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Modelo de ficha de inspeção para pilares

Nome do elemento				
Tipo de elemento	Pilares			
Local				
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações
Carbonatação	3			
Cobrimento deficiente	3			
Contaminação por cloretos	4			
Corrosão de armaduras	5			
Danos por impacto	5			
Desagregação	3			
Desplacamento	3			
Desvio de geometria	4			
Eflorescência	2			
Falha de concretagem	3			
Fissuras	2 a 5*			
Manchas	3			
Recalque	5			
Sinais de esmagamento	5			
Umidade da base	3			

Fonte: Adaptado de Castro (1994).

2.5.3 Fator de Intensidade do Dano (Fi)

O Fator de Intensidade do Dano (Fi) é um dos principais parâmetros utilizados na Metodologia GDE/UnB para avaliar a progressão e severidade de uma patologia em um elemento estrutural específico, sem considerar sua relação direta com os demais componentes da edificação. Diferente do Fator de Ponderação (Fp), que classifica os danos com base em seu impacto funcional e estrutural, o Fi mede a evolução do problema dentro de um único elemento.

De acordo com Castro (1994), a introdução desse fator na metodologia foi essencial para evitar avaliações excessivamente subjetivas e garantir um diagnóstico mais preciso. O autor destaca que, sem uma análise criteriosa do avanço das manifestações patológicas, há o risco de que problemas graves sejam subestimados ou que manifestações superficiais sejam supervalorizadas, resultando em decisões inadequadas sobre manutenção e reforço estrutural.

O Fator de Intensidade do Intensidade varia de 1 a 4, conforme a gravidade e a extensão da manifestação patológica dentro do elemento estrutural avaliado. Lima (2018) ressalta que o F_i é um dos indicadores mais importantes para a definição do Grau de Danificação Estrutural (GDE), pois permite uma visão mais detalhada da severidade real das manifestações dentro de cada componente analisado. Esse detalhamento possibilita um planejamento mais eficaz das intervenções corretivas, priorizando os elementos mais comprometidos.

Dessa maneira, o F_i complementa o Fator de Ponderação (F_p), permitindo uma análise mais profunda e objetiva do estado estrutural das edificações. A correta aplicação desses fatores resulta em um diagnóstico mais confiável, promovendo segurança estrutural, economia de recursos e maior eficiência nas estratégias de manutenção. A Tabela 6, mostra um exemplo de análise de fator de intensidade, aonde a avaliação vai desde inspeções visuais a quantitativos de avanço da manifestação patológica.

Tabela 6 - Exemplos de Fatores de intensidade (F_i)

Tipos de danos	F_i recomendado
Corrosão de armaduras	2 – Manifestações leves, pequenas manchas;
	3 – Grandes manchas e/ou fissuras de corrosão;
	4 – Corrosão acentuada de armadura principal com perda relevante de seção (>20% do diâmetro).
	1 – Início de manifestações;
Eflorescência	2 – Manchas de pequenas dimensões;
	3 – Manchas acentuadas, em grandes extensões;
	4 – Grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).

Fonte: Adaptado de Castro (1994).

2.5.4 Grau de Dano (D)

O grau de dano (D), é calculado a partir do fator de ponderação e intensidade (F_p e F_i) por meio das Equações 1 e 2, introduzido por Castro (1994), o modelo do cálculo faz uma analogia ao modelo de Tuutti (1982), que considera que a deterioração ocorreria em duas fases:

iniciação e propagação. Durante a fase de iniciação, os danos não comprometem a vida útil da estrutura, já na fase de propagação, os danos já apresentam perigo para a estrutura, podendo comprometer sua funcionalidade e segurança.

$$D = 0,8 \cdot Fi \cdot Fp \quad \text{Para } Fi \leq 2,0 \quad (1)$$

$$D = (12 \cdot Fi - 28)Fp \quad \text{Para } Fi \geq 3,0 \quad (2)$$

2.5.5 Grau de Deterioração do Elemento (Gde)

Após a obtenção isolada de cada um dos graus de dano (D), é possível encontrar o Grau de Deterioração do Elemento (Gde), utilizando a Equação 3. Essa equação foi proposta por Lopes (1998), procura preservar as doutrinas da metodologia, trabalhando para que os efeitos do maior dano sejam aos efeitos dos demais.

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

Onde:

Gde: Grau de deterioração do elemento;

Di: Grau do dano de índice “i”;

Dmáx: Maior grau do dano encontrado no elemento;

N: Número de danos encontrados no elemento.

Ao datar do Grau de Deterioração do Elemento (Gde), é possível obter o diagnóstico do nível de deterioração do elemento e da estrutura, sendo possível dimensionar as ações a serem adotadas, tornando o processo mais confiável e preciso, conforme a Tabela 7 a seguir mostra.

Tabela 7 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento pela metodologia GDE/UnB

Nível de deterioração	Gde	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).

Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Crítico	>100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: Fonseca (2007).

2.5.6 Grau de Deterioração de uma Família de Elementos (Gdf)

O Grau de Deterioração de uma Família de Elementos (G_{df}), é obtido através da Equação 4, proposta por Fonseca (2007), agrupando e avaliando as peças de uma mesma família, levando em consideração os valores da G_{de} obtidos pelos elementos que pertence a mesma família alvo do cálculo.

$$Gdf = G_{de, \text{máx}} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de, \text{máx}}}{\sum_{i=1}^m G_{de,i}}} \quad (4)$$

Onde:

$G_{de, \text{máx}}$: Maior grau de deterioração encontrado na família de elementos;

$G_{de,i}$: Graus de deterioração apresentados pelos elementos da família;

m : Número de elementos com $G_{de} \geq 15$.

Para prosseguir com o cálculo da G_{df} é usado somente elementos estruturais que atingiam um nível de deterioração de valor médio ou superior. Fonseca (2007) sugere usar apenas elementos com $G_{de} \geq 15$, pois é o ponto onde os danos passam de um valor baixo (0-15), como foi mostrado na Tabela 7.

2.5.7 Fator de Relevância da Família (Fr)

O Fator de Relevância (Fr), atribui um valor de importância que um elemento estrutural tem para a estrutura como um todo, valor esse que varia de 1 a 5, como é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Fator de relevância estrutural

Elemento	Fr
Elementos de composição arquitetônica	1,0
Reservatório superior	2,0
Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de dilatação	3,0
Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários	4,0
Vigas e pilares principais	5,0

Fonte: Adaptado de Euqueres (2011)

2.5.8 Grau de Deterioração da Estrutura (Gd)

Por fim é obtido o Grau de Deterioração da Estrutura (Gd), por meio da Equação 5.

$$Gd = \frac{\sum_{i=1}^k (F_{r,i} \cdot G_{df,i})}{\sum_{i=1}^k F_{r,i}} \quad (5)$$

Onde:

k: Número de famílias da estrutura;

$F_{r,i}$: Fator de relevância estrutural da família de ordem “i”;

$G_{df,i}$: Grau de deterioração da família de ordem “i”.

O Grau de deterioração da estrutura define o nível de deterioração em função dos valores de G_{df} obtidos para cada família de elemento da estrutura, onde com os resultados será definido o nível de deterioração da edificação conforme mostrado na Figura 19.

3 METODOLOGIA

A estrutura em estudo é um edifício industrial em concreto armado, destinado a suportar as operações do processo de beneficiamento de bauxita. Implantada há aproximadamente 16 anos, a edificação apresenta múltiplos pavimentos e configurações típicas de estruturas moldadas in loco, com elementos verticais e horizontais projetados para resistir a cargas constantes associadas à operação mineral.

Localizada na região do Baixo Amazonas, no estado do Pará, a estrutura está inserida em um microclima equatorial úmido, caracterizado por temperatura média anual de aproximadamente 28 °C, umidade relativa do ar elevada e precipitação anual média em torno

de 1.983 mm. A exposição direta às condições ambientais e à atmosfera industrial é permanente ao longo do ano, com variações mínimas entre as estações (Imazon, 2019).

Neste contexto, adota-se uma abordagem metodológica de natureza quantitativa, com ênfase na transformação de dados provenientes de inspeções visuais em indicadores numéricos padronizados. Por meio de modelos matemáticos e critérios técnicos previamente definidos, busca-se mensurar, de forma objetiva, o grau de integridade estrutural da edificação, considerando a atuação simultânea de fatores ambientais, operacionais e construtivos.

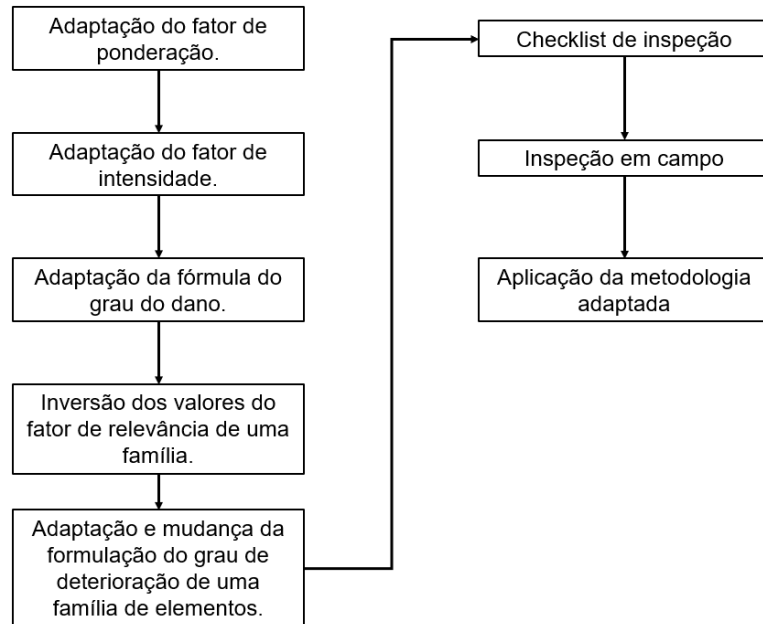
Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, as adaptações propostas na metodologia original foram definidas a partir de um processo iterativo de experimentação prática, por meio da aplicação em diferentes estruturas com características industriais semelhantes. A lógica dos coeficientes, escalas e fórmulas foi ajustada com base em sucessivas análises de sensibilidade, aplicando os critérios originais e comparando os resultados com observações de campo. O método adotado seguiu uma abordagem de tentativa e erro, cujos refinamentos foram orientados pela coerência entre os índices obtidos e a condição real observada nos ativos inspecionados.

A metodologia GIE é uma proposta de adaptação da metodologia GDE/UnB para o contexto industrial. O método GDE/UnB foi originalmente desenvolvida por Castro (1994) com o objetivo de quantificar o grau de deterioração de estruturas de concreto armado convencionais, sistematizando a inspeção técnica e classificando os elementos estruturais com base na severidade dos danos identificados. Para isso, foram feitos ajustes nos coeficientes e reformulação dos modelos de cálculo, visando proporcionar uma análise quantitativa mais precisa das condições estruturais.

As adaptações foram aplicadas em inspeções de campo, seguidas da implementação prática da metodologia revisada para validação em uma edificação particular do ambiente. Esse processo permitiu testar e comprovar a eficiência das mudanças propostas, garantindo que os resultados fossem mais alinhados com as necessidades do setor e melhorando a precisão na avaliação das estruturas.

Por fim, as adaptações visam expressar o estado de integridade da estrutura de forma percentual, permitindo uma visualização objetiva dos danos acumulados. A seguir, a Figura 16 apresenta um fluxograma, que ilustra de maneira resumida, o passo a passo dos ajustes realizados nos cálculos e critérios da metodologia GDE/UnB.

Figura 16 – Fluxograma das adaptações



Fonte: Autoria própria (2025).

3.1 Adaptação do fator de ponderação (Fp)

De acordo com a proposta de Castro (1994), o Fator de Ponderação (Fp) destina-se a avaliar o nível de periculosidade das patologias, com notas variando de 1 a 5. Nesta escala, a nota 1 representa manifestações patológicas de baixa periculosidade, enquanto a nota 5 indica deficiências de alto risco para a estrutura. No modelo original, esses valores são fixos para cada tipo de manifestação patológica e em alguns casos, não possuem níveis para classificação de acordo com o estágio evolutivo e propagação dos achados. Essa abordagem enrijece os resultados, avaliando um tipo de achado sempre da mesma maneira, o que podia resultar em avaliações que ora superestimavam, ora subestimavam a condição da estrutura.

Neste trabalho, essa lógica foi invertida: achados originalmente classificadas com nota 5 são agora tratadas como ausência de danos, enquanto aqueles com nota 1 são considerados de maior gravidade, conforme Tabela 9. Além de ter mudanças em relação a classificação, agora não é mais segmentado por tipo de manifestação patológica e sim pela consequência que ela pode trazer para a estrutura, essa adaptação permite que o modelo reflita, com maior precisão, o foco na integridade estrutural, ao alinhar a avaliação com o risco estrutural.

Tabela 9 – Fator de Ponderação

Nota	Consequências
1	Manifestações patológicas que geram grave insuficiência estrutural do ativo. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso.
2	Manifestações patológicas que comprometem a segurança estrutural do ativo, mas sem risco iminente
3	Manifestações patológicas que podem causar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade estrutural.
4	Manifestações patológicas pequenas e em áreas localizadas, sem comprometer a segurança estrutural.
5	Sem manifestações patológicas.

Fonte: Autoria própria (2025)

3.2 Adaptação do fator de intensidade (Fi)

O Fator de Intensidade (Fi), originalmente empregado na metodologia GDE/UnB, desenvolvida por Castro (1994), tem a finalidade de avaliar a progressão de uma manifestação patológica dentro de um elemento estrutural específico. Sua escala varia de 1 a 4, sendo que, no modelo original, uma patologia com nota 1 era considerada inofensiva para o desempenho da estrutura, enquanto uma nota 4 indicava um estágio avançado de deterioração, representando risco significativo à integridade do elemento avaliado. No entanto, essa abordagem apresentava limitações metodológicas que impactavam a precisão da avaliação. A principal dessas limitações era a ausência de um critério de padronização na atribuição dos valores, o que impedia a obtenção de uma base comparativa confiável entre diferentes estruturas ou mesmo entre diferentes manifestações dentro de uma mesma inspeção.

Diante desse cenário, a reformulação proposta inverte a lógica do Fator de Intensidade (Fi), estabelecendo uma nova escala de interpretação conforme apresentado parcialmente na Tabela 10. Manifestações anteriormente classificadas com nota 1 passam a ser compreendidas como avançadas e potencialmente prejudiciais à integridade do elemento estrutural, enquanto a nota 4 passou a indicar ausência de danos. Dessa forma, a interpretação dos resultados torna-se mais coerente e intuitiva, permitindo que estruturas sem patologias apresentem um grau de integridade elevado, enquanto aquelas com danos significativos exibam uma pontuação progressivamente inferior. A relação completa da classificação do Fator de Intensidade (Fi) se encontra na Tabela 20, presente no Apêndice A.

Tabela 10 - Adaptação do fator de intensidade (Fi)

Manifestação Patológica	Nível	Descrição
Eflorescência	1	Manchas esbranquiçadas de grandes dimensões com formação de estalactites.
	2	Manchas esbranquiçadas de grandes dimensões.
	3	Manchas esbranquiçadas de pequenas dimensões.
	4	Sem indícios de eflorescência.
Cobrimento Deficiente	1	Cobrimento deficiente com exposição e perda de massa das armaduras.
	2	Cobrimento deficiente com exposição da armadura.
	3	Cobrimento até 5mm abaixo do que a norma NBR 6118 estabelece.
	4	Cobrimento conforme a norma NBR 6118.
Corrosão de armaduras	1	Armadura exposta com intensa corrosão.
	2	Corrosão de armadura pontual com início de deslocamento do concreto.
	3	Armadura exposta sem corrosão ou pequenas manchas no concreto com cor característica de ferrugem.
	4	Sem indícios de corrosão.

Fonte: Adaptado de Verly (2015) pelo autor.

Além da inversão da lógica da escala, a reformulação incorporou um critério de padronização que estabelece valores mínimos e máximos comuns para todas as manifestações patológicas avaliadas. Com essa uniformização, a metodologia possibilita a obtenção de um grau de integridade máximo para estruturas sem danos, viabilizando a comparação direta entre diferentes inspeções, períodos de avaliação e ativos distintos. Essa abordagem favorece uma análise quantitativa mais precisa, garantindo que a integridade estrutural de uma edificação ou instalação industrial possa ser mensurada a partir de um referencial objetivo e replicável. A introdução dessa padronização também confere maior confiabilidade aos dados obtidos, facilitando a identificação de tendências de deterioração ao longo do tempo e subsidiando a tomada de decisão sobre intervenções de manutenção de forma mais eficaz. Ao permitir comparações estruturadas, a adaptação torna o sistema mais adequado à gestão de ativos, promovendo uma abordagem preventiva e preditiva na conservação estrutural.

3.3 Adaptação da fórmula e renomeação do grau do dano (D)

O grau de dano (D) é originalmente calculado a partir do fator de intensidade e do fator de ponderação (Fi e Fp), assumindo que a deterioração ocorre em duas etapas: iniciação e

propagação. Neste estudo, optou-se por uma adaptação da primeira fórmula, removendo o fator multiplicativo de 0,8 e mantendo apenas o produto de F_p e F_i , uma vez que a fase de iniciação e propagação já está incorporada na classificação do fator de ponderação. Assim, a formulação passa a ser denominado Grau de Integridade (I), representado pela Equação 6:

$$I = F_i \cdot F_p \quad (6)$$

3.4 Inversão dos valores do fator de relevância da família (Fr)

O Fator de Relevância (Fr) atribui um valor que representa a importância de um elemento estrutural para a integridade da estrutura como um todo, com uma escala de 1 a 5, onde notas mais altas indicam maior importância do elemento. Para alinhar-se à lógica desta metodologia, o fator de relevância (Fr) foi invertido. Agora, quanto menor o valor atribuído ao elemento, variando entre 1 e 5, maior será o seu nível de importância para a estrutura, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Inversão dos valores do fator de relevância da família (Fr)

Fr	Elemento
1	Vigas e pilares primários
2	Lajes, fundações, vigas secundárias e pilares secundários
3	Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de Dilatação
4	Reservatório superior
5	Elementos de composição arquitetônica

Fonte: Adaptado de Verly (2015) pelo autor.

3.5 Adaptação da fórmula do grau de deterioração de uma família de elementos (Gdf)

Com o objetivo de aprimorar a coerência na avaliação estrutural, o parâmetro Gdf foi renomeado para Grau de Integridade da Família de Elementos (Gif), alinhando-se à inversão metodológica aplicada ao restante do modelo. Dessa forma, valores mais elevados passam a indicar melhor condição estrutural, tornando a interpretação mais intuitiva e alinhada com a priorização de intervenções.

A reformulação proposta mantém a aplicação da equação original do Grau de Dano da Família, porém de forma diferenciada. Para elementos que apresentem risco de colapso

estrutural ($F_i \leq 3$), conforme determinado pelo Fator de Intensidade (F_i), o valor do G_{if} será determinado com base no elemento mais crítico do grupo, assegurando que a métrica represente a pior condição presente na estrutura, seguindo a Equação 7. Já para elementos cuja condição estrutural não sugira risco iminente de falha ($F_i \geq 4$), a avaliação se baseará na média dos valores de Grau de Integridade Individual (G_{ie}), de acordo com a Equação 8, evitando que manifestações patológicas pontuais influenciem indevidamente a avaliação global.

$$G_{if} = G_{ie, \min} \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{ie,i}) - G_{ie, \min}}{\sum_{i=1}^m G_{ie,i}}} \quad \text{Para } F_i \leq 3 \quad (7)$$

$$G_{if} = \frac{\sum_{i=1}^m G_{ie}}{m} \quad \text{Para } F_i \geq 4 \quad (8)$$

Onde:

$G_{ie, \min}$: Menor grau de integridade encontrado na família de elementos;

$G_{ie,i}$: Graus de integridade apresentados pelos elementos da família;

m : Número de elementos.

3.6 Procedimento de Inspeção

Para garantir a qualidade e a sistematização da inspeção, elaborou-se um checklist padronizado, conforme ilustrado na Figura 17, estruturado a partir das diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2023) e do Manual de Inspeção de Obras de Arte Especiais do DNIT, com adaptações específicas para o contexto industrial. O checklist foi desenvolvido para registrar as manifestações patológicas identificadas nos elementos estruturais, detalhando sua localização, extensão e possíveis mecanismos de evolução. A estruturação do documento permitiu a padronização da coleta de dados, assegurando que todas as informações essenciais fossem devidamente registradas durante o procedimento de inspeção.

Figura 17 – Checklist de inspeção

6. VERIFICAR A EXISTÊNCIA DE COBRIMENTO DEFICIENTE, ARMADURAS EXPOSTAS E/OU ARMADURAS CORROÍDAS NOS ELEMENTOS DE CONCRETO. UTILIZAR PACOMÉTRIO PARA VERIFICAR O COBRIMENTO. AVALIAR SE AS CONDIÇÕES ENCONTRADAS ESTÃO EM CONFORMIDADE COM OS CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA NORMA ABNT NBR 6118:2023 (VER TABELA 5).

OK NOK N/A S1 S2 OBS: _____
 LOCAL: _____ Nº FOTO: _____
 DESCRIÇÃO: _____






FIGURA 10 – COBRIMENTO DEFICIENTE FIGURA 11 – ARMADURA EXPOSTA

TIPO DE ESTRUTURA	COMPONENTE OU ELEMENTO	CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL (TABELA 6.1)			
		I	II	III	IV
CONCRETO ARMADO	LAJE	20	25	35	45
	MOLDE PLAR	25	30	40	50
	ELEMENTOS ESTRUTURAS EM CONTATO COM O SOLO	30		40	50
CONCRETO PROTENDIDO	LAJE	25	30	40	50

TABELA 05 - CORRESPONDÊNCIA ENTRE A CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL E O COBRIMENTO NOMINAL PARA $CC = 10$ MM (NBR 6118:2023)

7. EXAMINAR AS JUNTAS DE DILATAÇÃO E VERIFICAR SE HÁ DEFORMAÇÃO, DESALINHAMENTO, DESNIVELAMENTO ENTRE OS TRECHOS SEPARADOS PELA JUNTA E SE HÁ ACÚMULO DE DETRITOS QUE POSSAM INTERFERIR NO SEU FUNCIONAMENTO;

OK NOK N/A S1 S2 OBS: _____
 LOCAL: _____ Nº FOTO: _____
 DESCRIÇÃO: _____

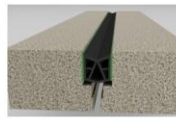




FIGURA 12 – JUNTA DE DILATAÇÃO FIGURA 13 – JUNTA DE DILATAÇÃO

8. INSPECIONAR OS PILARES EM BUSCA DE FLAMBAGENS OU DESVIOS APARENTES. USAR NÍVEL A LASER PARA VERIFICAR A VERTICALIDADE DOS PILARES.

OK NOK N/A S1 S2 OBS: _____
 LOCAL: _____ Nº FOTO: _____
 DESCRIÇÃO: _____






FIGURA 14 – FLAMBAGEM/COMPRESSÃO FIGURA 15 – FLAMBAGEM EM PILAR

9. INSPECIONAR AS LAJES, NOS PONTOS CRÍTICOS (MEIO DO VÃO E PONTOS DE APOIO) EM BUSCA DE FISSURAS E DESLOCAMENTOS EXCESSIVOS;

OK NOK N/A S1 S2 OBS: _____
 LOCAL: _____ Nº FOTO: _____
 DESCRIÇÃO: _____

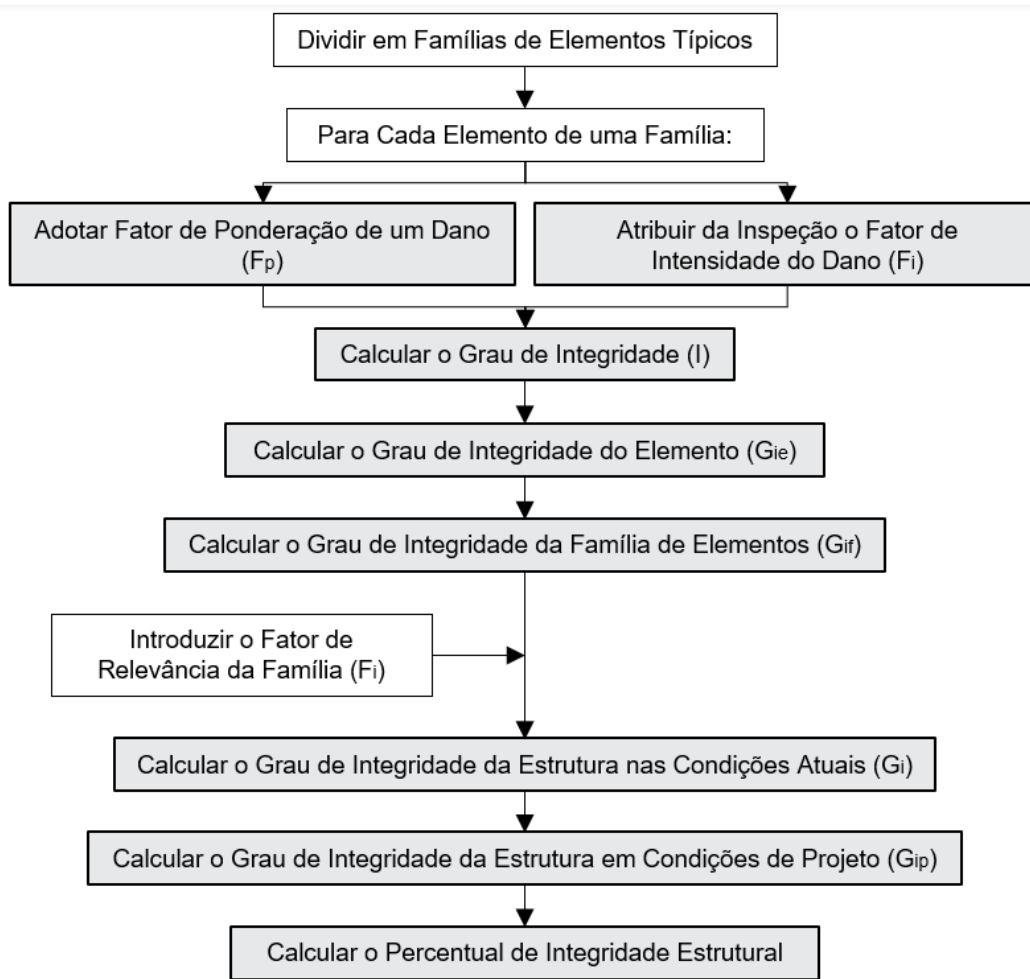
Fonte: Aatoria própria (2025)

A inspeção foi realizada in loco, com o acompanhamento de um engenheiro civil especializado em integridade estrutural, seguindo um método de avaliação visual e quantitativa. O procedimento consistiu na análise direta dos elementos estruturais, com a identificação e medição das manifestações patológicas por meio do fissurômetro e trena, permitindo o registro detalhado das dimensões e características dos danos observados. A documentação dos achados foi realizada simultaneamente no checklist elaborado para a inspeção, garantindo o alinhamento entre os dados coletados e os critérios estabelecidos. Além disso, os desenhos técnicos da edificação foram utilizados para a correta localização das manifestações patológicas, possibilitando a associação dos registros visuais com a estrutura inspecionada.

3.7 Aplicação da Metodologia GIE

Após a etapa de coleta e registro das informações provenientes da inspeção em campo, os dados foram processados no software Microsoft Excel, seguindo os passos da metodologia GIE, conforme ordenado na Figura 18, que vão desde a classificação inicial das manifestações patológicas até a obtenção do percentual global de integridade da estrutura. Além da estrutura organizada, pode se observar também, na cor cinza, as etapas que passaram por mudanças para adequação a nova metodologia.

Figura 18 – Fluxograma de aplicação da GIE



Fonte: Autoria própria (2025)

Na etapa final do procedimento de avaliação, calcula-se o grau de integridade estrutural global da estrutura a partir dos dados coletados em campo, o resultado representa o estado real de conservação da estrutura, expresso por um valor numérico. Para quantificar o nível de degradação em termos percentuais, realiza-se o cálculo do G_{ip} (Grau de Integridade de Projeto), considerando que a estrutura estivesse livre de qualquer manifestação patológica (ou seja, todos os elementos avaliados com integridade máxima). Esse valor de G_{ip} corresponde ao 100% de integridade estrutural.

Finalmente, conforme Equação 9, divide-se o G_i real pelo G_{ip} ideal e multiplica-se por 100, gerando o percentual de integridade estrutural. Esse indicador permite comparar diretamente o desempenho da estrutura atual com o cenário de referência sem danos, evidenciando de forma objetiva o grau de conservação remanescente. Quanto mais próximo de 100%, menor o nível de deterioração e menor a urgência de intervenções; valores reduzidos

indicam comprometimento estrutural mais grave e demandam medição intervencionistas imediatas.

$$Gi\% = \frac{Gi}{Gip} \times 100 \quad (9)$$

Com o valor do percentual de integridade estrutural obtido, torna-se necessário interpretar tecnicamente esse indicador a fim de subsidiar decisões quanto à manutenção e à segurança da estrutura avaliada. Para isso, foi adotada uma classificação por faixas de integridade, apresentada na Tabela 12, que estabelece critérios objetivos para a definição de ações recomendadas com base no intervalo percentual. Essa classificação permite associar o grau de integridade a estratégias graduadas de manutenção, variando desde monitoramento preventivo até intervenções corretivas imediatas, conforme a criticidade do cenário identificado.

Tabela 12 – Classificação dos níveis de integridade estrutural (GIE) e ações recomendadas

Nível de Integridade	Intervalo de Gi (%)	Ações recomendadas
Excelente	95 – 100	Estrutura em ótimo estado. Manutenção de rotina e preventiva. Seguir estratégia de inspeção visual anual.
Boa	90 – 94	Estrutura com desempenho muito satisfatório. Manutenção preventiva e inspeção visual anual.
Regular	80 – 89	Estrutura com desempenho satisfatório. Manutenção preventiva e nova inspeção visual em até 1 ano.
Moderada	70 – 79	Estrutura com início de comprometimento. Manutenção preventiva, monitoramento dos pontos críticos e nova inspeção em até 6 meses.
Crítica	60 – 69	Estrutura com comprometimento moderado. Inspeção especializada e manutenção corretiva.
Muito Crítica	≤ 59	Estrutura com comprometimento elevado. Planejar intervenção corretiva imediata.

Fonte: Adaptado de Verly (2015) pelo autor.

Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade das adaptações realizadas, a metodologia proposta foi aplicada paralelamente ao modelo original GDE/UnB, conforme descrito no manual elaborado por Verly (2015), utilizando o mesmo conjunto de dados obtidos durante a inspeção visual. A comparação entre os dois modelos foi incorporada como etapa final do

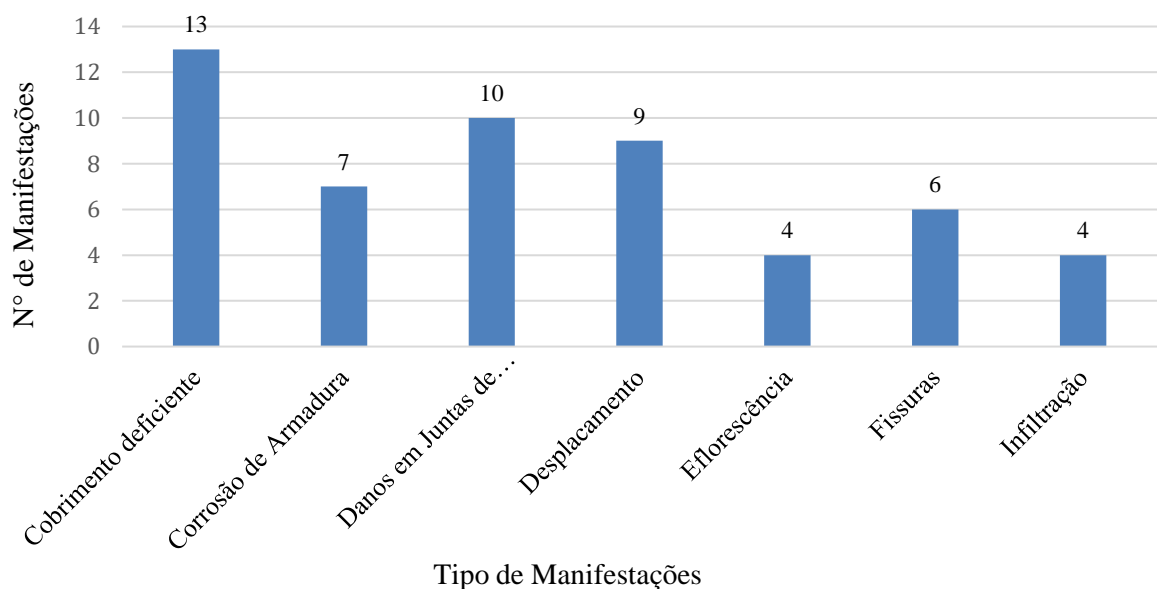
procedimento metodológico, possibilitando a análise da variação entre os índices gerados e a verificação das diferenças na representação das condições estruturais. Os critérios de cálculo foram aplicados de forma independente em ambas as abordagens, assegurando a consistência na comparação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido às políticas internas de sigilo institucional da empresa responsável pela estrutura avaliada, não foram utilizadas imagens, nem foram mencionados o nome da organização ou informações técnicas específicas sobre a edificação. A estrutura inspecionada trata-se de um edifício industrial robusto, em concreto armado, com quatro pavimentos, destinado ao beneficiamento de bauxita. Os dados apresentados neste trabalho foram obtidos por meio de inspeções técnicas realizadas in loco, conduzidas com base em critérios padronizados de engenharia.

Com base na metodologia GDE, foi desenvolvida a avaliação do Grau de Integridade Estrutural (GIE) e aplicada em um prédio de lavagem localizado em uma mina de bauxita. Essa adaptação permite uma análise específica das condições estruturais do edifício industrial, proporcionando uma visão detalhada sobre o estado de conservação de seus elementos constituintes. Durante as inspeções, foram identificadas diversas manifestações patológicas que afetam a integridade dos componentes avaliados, conforme evidenciados na Figura 19.

Figura 19 - Tipos de manifestações patológicas encontradas em cada família de elementos



A contagem das manifestações patológicas por família estrutural revelou que pilares e lajes concentram a maior quantidade de danos, conforme exposto na Tabela 14. Essa distribuição indica que tais elementos estão mais expostos a processos de deterioração, o que pode estar relacionado aos ciclos de lavagem da área e aos vazamentos da água utilizada no processo de beneficiamento da bauxita. Já vigas apresentaram menor incidência de patologias, possivelmente devido à sua menor exposição ou à maior robustez construtiva.

Tabela 13 – Quantidade de manifestações patológicas por família de elementos

Família	Número de Manifestações Patológicas
Pilar	21
Laje	16
Viga	15
Contraventamento	1
Total	53

Fonte – Autoria própria (2025)

Com a aplicação da metodologia revisada, foi possível determinar os índices de integridade individual dos elementos (Gie), os graus de integridade por família estrutural (Gif) e o índice de integridade global (Gi) da edificação. Os resultados foram obtidos a partir de um sistema de ponderações que considera a severidade (Fp) e a intensidade (Fi) de cada manifestação, além da relevância estrutural de cada família (Fr). A Tabela 22, apresentada no Apêndice C, consolida os dados de entrada utilizados na aplicação da metodologia GIE, reunindo as manifestações patológicas identificadas em cada elemento estrutural, os respectivos valores de Fator de Intensidade (Fi) e Fator de Ponderação (Fp), bem como os resultados de Grau de Integridade Individual (I) e Grau de Integridade Estrutural do Elemento (Gie).

Com base nos resultados obtidos, procedeu-se à consolidação dos índices individuais (Gie) por famílias de elementos estruturais, resultando nos valores de Grau de Integridade por Família (Gif). A Tabela 15 apresenta os percentuais correspondentes para cada grupo avaliado. Verifica-se que as famílias de vigas e lajes apresentaram os menores percentuais de integridade, indicando maior concentração e severidade de manifestações patológicas nesses componentes. Por outro lado, os valores obtidos para pilares e contraventamentos demonstram desempenho estrutural mais favorável, o que pode estar associado a menor exposição a agentes agressivos ou à robustez construtiva desses elementos.

Tabela 14 – Grau de integridade por família estrutural (Gif) e percentual de integridade (Gi%)

Famílias	Gif sem danos	Gif Com Danos	Percentual de Integridade (Gi%)
Pilar	30,77	25,17	81,82%
Laje	30,77	24,52	79,70%
Viga	30,77	25,16	81,77%
Contraentamento	30,77	28,26	91,86%

Fonte – Autoria própria (2025)

A análise individual da integridade por famílias estruturais mostrou-se uma etapa fundamental para a compreensão do desempenho global da edificação. Ao segmentar os elementos conforme suas funções tornam-se possível evidenciar quais grupos concentram maior incidência de manifestações patológicas e, portanto, contribuem de forma mais significativa para a redução da integridade global. Essa abordagem permite não apenas uma leitura mais precisa do estado geral da estrutura, como também a identificação dos principais gargalos associados à sua perda de desempenho.

Seguindo o procedimento de cálculo, o percentual global de integridade estrutural calculado para a edificação foi de 84,79%. Esse valor indica que, embora não haja risco iminente de colapso, a estrutura apresenta manifestações patológicas cuja severidade e recorrência justificam a adoção de medidas corretivas e preventivas em curto prazo. A edificação ainda cumpre adequadamente sua função estrutural, mas requer acompanhamento técnico para evitar a progressão dos danos e o conseqüente comprometimento do desempenho global. De acordo com a Tabela 12, de classificação por faixas de integridade, esse percentual enquadra a edificação na categoria “Regular”, que recomenda a manutenção preventiva contínua e nova inspeção visual dentro de um intervalo de até 12 meses. Os valores correspondentes ao Grau de Integridade de Projeto (Gip), ao Grau de Integridade Global (Gi) e ao Percentual de Integridade Estrutural estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 15 – Resultados do grau de integridade global da edificação

Grau de Integridade de Projeto (Gip)	Grau de Integridade Gi	Percentual de Integridade (Gi%)
30,77	25,70	84,79%

Fonte – Autoria própria (2025)

Embora o percentual global de integridade estrutural proporcione uma visão consolidada da condição da edificação, observa-se que algumas famílias de elementos apresentaram desempenho inferior ao índice global. Nesse contexto, adotar como referência o

menor percentual de integridade entre as famílias estruturais pode representar uma estratégia adicional para aumentar a confiabilidade do diagnóstico, especialmente em estruturas onde determinadas regiões exercem papel crítico no desempenho global. Essa abordagem não substitui o índice consolidado, mas pode ser utilizada de forma complementar para qualificar a classificação da estrutura nas faixas de integridade, ampliando a sensibilidade da avaliação frente à distribuição desigual dos danos.

Para fins de comparação entre abordagens, os dados obtidos em campo também foram submetidos à metodologia GDE/UnB, utilizando-se a estrutura proposta por Verly (2015). A aplicação paralela das duas metodologias permitiu a obtenção de índices para as mesmas famílias estruturais, possibilitando o confronto entre os modelos e suas respectivas formas de representação do estado estrutural da edificação. A Tabela 12 consolida os resultados obtidos. Já a Tabela 21, apresentada no Apêndice B, reúne os dados de entrada utilizados no processamento da metodologia GDE, incluindo as manifestações patológicas identificadas, os valores atribuídos aos fatores de ponderação e intensidade, e os resultados do grau de dano dos elementos (Gde).

Tabela 16 – Comparativo entre os resultados das metodologias GDE/UnB e GIE por família estrutural

Famílias	GDE/UnB		Gif	GIE	
	Gdf	Gd		Gi	Gi%
Pilar	0		25,17		
Laje	29,65	13,70	24,52	25,70	84,79%
Viga	15,62		25,16		
Contraventamento	12,50		28,26		

Fonte – Autoria própria (2025)

A comparação entre os resultados obtidos para cada família estrutural evidencia de forma clara as diferenças conceituais entre as metodologias. A GDE, centrada na quantificação da deterioração acumulada, interpreta valores mais elevados como indicativos de maior comprometimento estrutural. Por sua vez, a GIE adota uma lógica inversa, expressando o grau de integridade remanescente da estrutura, de modo que valores mais altos correspondem a melhores condições de desempenho. Essa divergência metodológica influencia diretamente a forma como os resultados são interpretados e aplicados na gestão da manutenção.

Com base nos dados consolidados, observa-se uma coerência relativa entre os dois modelos no que se refere à distribuição da condição estrutural entre as famílias. Os elementos de contraventamento apresentaram bons desempenhos em ambas as abordagens, refletindo

baixa incidência de manifestações patológicas e boa conservação estrutural. As vigas mantiveram desempenho intermediário, indicando aderência nos resultados dos dois métodos. As lajes, por sua vez, concentraram os piores resultados em ambos os métodos, evidenciando maior vulnerabilidade diante das condições operacionais e ambientais a que estão expostas.

Já os pilares apresentaram uma situação particular: embora tenham sido classificados com o menor grau de deterioração segundo a GDE, seus índices de integridade na metodologia GIE revelaram um desempenho inferior ao esperado. A atribuição de nota zero de deterioração na metodologia GDE pode ser explicada por dois fatores principais: primeiramente, pela forma como o Fator de Intensidade (Fi) foi classificado para determinadas manifestações patológicas; e, em segundo lugar, pela aplicação do critério metodológico adotado por Verly (2015), com base na recomendação original de Castro (1994), que estabelece a desconsideração dos valores de Grau de Dano do Elemento (Gde) inferiores a 15 no cálculo do Grau de Dano da Família (Gdf).

Conforme ilustrado na Tabela 17, o modelo proposto por Verly (2015) adota apenas três níveis de avanço para cobertura deficiente, sendo que o primeiro nível já representa uma condição fora da conformidade normativa, ainda que sem exposição direta da armadura. A partir do segundo nível, a armadura torna-se visível ou parcialmente exposta, o que, em estruturas críticas como pilares, tende a representar uma condição estrutural de atenção imediata, principalmente em ambientes com elevada agressividade, como o industrial. Essa gradação limitada restringe a nuance na avaliação da gravidade da manifestação, resultando em notas que rapidamente se aproximam dos níveis mínimos de deterioração, mesmo para quadros que, sob outro critério, poderiam ser considerados moderados.

Tabela 17 - Critérios de classificação do fator de intensidade (Fi) para cobertura deficiente

Manifestação Patológica	Nível	Descrição
Cobertura Deficiente	1	Menores que o previsto em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura.
	2	Menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões.
	3	Deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas

Fonte: Verly (2015).

Além da classificação do Fator de Intensidade, outro aspecto que influencia significativamente a subestimação do comprometimento dos pilares na metodologia GDE está relacionado ao critério de corte adotado no cálculo do Grau de Dano da Família (Gdf). Conforme estabelecido por Castro (1994) e aplicado por Verly (2015), apenas os elementos que apresentarem Grau de Dano do Elemento (Gde) igual ou superior a 15 são considerados no cálculo do Gdf, sendo os demais desconsiderados da média ponderada. Essa decisão metodológica, embora vise eliminar ruídos provocados por danos superficiais ou pontuais, pode mascarar o impacto acumulado de manifestações recorrentes de baixa a média severidade, sobretudo em elementos com papel estrutural crítico. No caso dos pilares analisados, diversos achados relevantes, ainda que individualmente classificados com Gde inferior a 15, deixaram de influenciar o resultado do Gdf, o que contribuiu para a obtenção de uma nota que pode estar artificialmente baixa na avaliação global pela metodologia GDE.

Esse viés afeta diretamente a nota global da família estrutural dos pilares dentro da metodologia GDE, podendo gerar uma percepção de condição estrutural menos comprometida do que aquela efetivamente observada no método GIE. Embora os pilares tenham concentrado o maior número de manifestações patológicas entre todas as famílias — totalizando 21 achados —, a estrutura da escala do fator de intensidade da GDE, associada a exclusão do cálculo de elementos com Gde igual ou inferior a 15, não permite refletir com precisão a progressão dessas ocorrências.

Como resultado, mesmo diante de situações que beiram a exposição das armaduras e comprometem a proteção química e mecânica do aço, a pontuação final tende a subestimar o grau real de comprometimento estrutural. Em contrapartida, a metodologia GIE adota critérios mais graduais de fator de intensidade, como demonstrado na Tabela 18. Isso permite uma avaliação mais precisa da severidade dos danos, abrindo um leque mais amplo para uma classificação mais adequada das manifestações patológicas, permitindo diferenciar com maior precisão os estágios evolutivos do dano.

Tabela 18 – Critérios de classificação do fator de intensidade (Fi) para cobertura deficiente

Manifestação Patológica	Nível	Descrição
Cobrimento Deficiente	1	Cobrimento deficiente com exposição e perda de massa da armadura.
	2	Cobrimento deficiente com exposição da armadura.
	3	Cobrimento de 5 mm a 10 mm abaixo do que a norma NBR 6118 estabelece.

4 Cobrimento conforme a norma NBR 6118.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base em Verly (2015).

Em relação à formulação de Gdf, o método proposto neste trabalho introduz uma modificação que busca satisfazer a necessidade, levantada por Castro (1994), de manter apenas danos expressivos para fins de calibração do modelo. A Equação 7 e a Equação 8, utilizadas para o cálculo do Grau de Integridade por Família (Gif), substituem o critério de corte absoluto por uma lógica condicional baseada na severidade dos achados. Quando o Fator de Intensidade (Fi) for menor ou igual a 3 — ou seja, indica manifestações de potencial impacto estrutural — o cálculo do Gif utiliza o menor valor de Gie dentro da família, ponderado por uma função que considera a distribuição dos demais elementos, conforme expresso na Equação 7. Já quando Fi é igual ou superior a 4, representando manifestações de baixa severidade, aplica-se a média aritmética simples dos Gie dos elementos, conforme Equação 8. Essa abordagem permite preservar o foco em danos significativos, sem desconsiderar a totalidade dos dados levantados, proporcionando maior fidelidade na caracterização da integridade estrutural das famílias.

Por fim, ao comparar os resultados consolidados obtidos pelas duas metodologias, observa-se que a avaliação realizada pela GIE atribuiu à estrutura o nível de integridade classificado como "Boa", com nota 25,70, equivalente a 84,79% de integridade, conforme a escala padronizada deste estudo. Já a metodologia GDE/UnB classificou a estrutura em nível "Baixo", com nota 13,70, enquadrando-a no melhor desempenho possível segundo a sua própria escala de classificação. Conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Comparativo entre os resultados e recomendações das metodologias GIE e GDE/UnB

Metodologia	Nível de Integridade/Dano	Nota	Ações recomendadas
GIE	Boa	25,70 (84,79%)	Estrutura com desempenho satisfatório. Manutenção preventiva e nova inspeção visual em até 1 ano.
GDE/UnB	Baixo	13,70	Estado aceitável. Manutenção preventiva.

Fonte: Autoria própria.

Essa diferença evidencia que a metodologia GIE, ao adotar critérios de avaliação orientados à consequência e severidade dos danos, apresenta uma abordagem mais criteriosa e, em certa medida, mais conservadora. Ainda que ambas recomendem manutenção preventiva, a

GIE estabelece explicitamente a necessidade de nova inspeção visual em até 12 meses, oferecendo um direcionamento mais objetivo para o monitoramento contínuo da integridade estrutural.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo propor e aplicar uma adaptação da metodologia GDE/UnB ao contexto industrial, resultando na formulação do Grau de Integridade Estrutural (GIE). A proposta metodológica foi estruturada com base em critérios técnicos e ajustes conceituais voltados à realidade de estruturas inseridas em ambientes industriais, caracterizados por exigências operacionais específicas e pela necessidade de diagnósticos claros, comparáveis e tecnicamente embasados. A aplicação prática demonstrou a viabilidade da metodologia adaptada e sua capacidade de representar, de forma objetiva, o estado de conservação estrutural.

Entre as principais modificações realizadas, destacam-se as reformulações nos Fatores de Ponderação (F_p) e Intensidade (F_i), que passaram a representar, respectivamente, o grau de consequência e o nível de progressão das manifestações patológicas sobre a integridade dos elementos. Essa mudança contribuiu para evitar distorções na interpretação dos achados, tornando os índices mais condizentes com as condições observadas em campo. Ademais, a adoção da média dos graus de integridade individuais (G_{ie}) para compor o grau de integridade por família (G_{if}), nos casos em que $F_p \geq 4$, mostrou-se eficaz na mitigação de penalizações indevidas em estruturas com danos pouco significativos.

A padronização dos dados em escala percentual constitui outro avanço relevante, por permitir a comparação direta entre estruturas com diferentes características geométricas e funcionais, além de tornar os resultados mais acessíveis para diferentes níveis de público. Essa abordagem favorece a comunicação dos dados com equipes multidisciplinares e lideranças que nem sempre possuem formação técnica, contribuindo para a agilidade e clareza na definição de prioridades de intervenção.

Além disso, a inversão da lógica de pontuação e a atribuição de valores distintos de zero mesmo para elementos sem danos implicam na inclusão sistemática de todos os componentes estruturais no processo avaliativo. Essa exigência agrega maior detalhamento à inspeção e reforça a importância do conhecimento prévio do ativo por parte do inspetor. Embora torne o tratamento dos dados mais exigente, essa abordagem amplia a consistência do diagnóstico e fortalece seu uso como ferramenta de apoio à gestão técnica em ambientes industriais.

A aplicação da metodologia GIE na edificação analisada resultou em um percentual global de integridade estrutural de 84,79%, enquadrando a estrutura no nível "Boa", conforme a Tabela de Qualificação por Faixas Percentuais de Integridade. Essa classificação indica a necessidade de manutenção preventiva contínua e nova inspeção visual no prazo máximo de 1 ano, com o objetivo de monitorar a evolução das manifestações patológicas observadas e garantir a preservação da funcionalidade e segurança da estrutura ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ABNT. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ALMEIDA, Débora. **Influência de manifestações patológicas precoces e erros construtivos em estruturas de concreto armado: proposição de uma escala de impacto na durabilidade**. 2016. 79 f. Trabalho de Diplomação (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- ARAÚJO FILHO, Jurandir Ferreira; SILVA, Moisés Ferreira Eleutério; MARIANI, Bruna Bueno. **Ensaio de potencial de corrosão e metodologia GDE/UnB para análise da estrutura de concreto armado**: estudo de caso em Lauro de Freitas–BA. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 18, n. 2, p. 185–198, 2022.
- BARROSO FILHO, Nertan Fonseca. **Um estudo comparativo de procedimentos de análise estrutural para torres eólicas de concreto armado**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.
- BORGES, Paulo Eduardo Varanda; PEDREIRO, Marcelo Rodrigo de Matos. **Análise das principais patologias recorrentes em estruturas de concreto armado devido à ação da umidade**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 10, p. 6007–6028, 2023.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campo; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado – Eu te amo**. São Paulo: Blucher, 2018.
- CASTRO, Tiago Felipe da Cunha. **Desenvolvimento de metodologia para avaliação do grau de deterioração de estruturas de concreto armado**. 1994. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 1994.
- CONTE, Carlos Eduardo. **Processos de corrosão em armaduras de concreto armado: carbonatação e cloretos**. 2024. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2024.
- COSTA, Hugo Oliveira. **Avaliação de patologias em obras de arte especiais utilizando a metodologia GDE/UnB**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- CÔCO, Mateus; GUTERRES, Roberto. **Análise crítica de patologias provocadas em juntas de dilatação estruturais de edifícios verticais**. 2024. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.
- DE MORAIS, João Marcos Pereira et al. **Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado**: uma revisão. Research, Society and Development, v. 9, n. 7, 2020.

FARINÁCIO, Thais; ASSIS, Silmara. **Identificação das principais manifestações patológicas em edificações populares: um estudo de caso em Aparecida de Goiânia – GO.** 2018. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2018.

FERREIRA, Bárbara. **Análise quantitativa da Ponte do Bragueto – DF utilizando a metodologia GDE/UnB.** 2016. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS, Brasília, 2016.

FERREIRA, Ricardo. **Patologias em estruturas de concreto armado.** 2018. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Faculdade Carmelitana Mário Palmério, Monte Carmelo, 2018.

FÜHR, Andréia Grasiela. **Análise estrutural e de custos de estruturas de concreto armado com vedações verticais com painéis monolíticos em EPS e com blocos cerâmicos.** 2017.

IMAZON. **Relatório de Viabilidade Técnica** – Unidade de Conservação Juruti. Belém: Imazon, 2019. Disponível em: https://imazon.org.br/wpcontent/uploads/2019/08/RELAT%C3%93RIO-DE-VIABILIDADE-T%C3%89CNICA_UC-Juruti.pdf. Acesso em: 1 jun. 2025.

JÚNIOR, Jailson dos Santos et al. **Patologias em juntas de dilatação de estruturas de concreto: causas e consequências.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 3, n. 6, p. 152–167, jun. 2019. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/patologias-em-juntas>. Acesso em: 3 jun. 2025.

LOTTERMANN, A. **Patologias em estruturas de concreto: estudo de caso.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

MACHADO, João Vítor. **O recalque em fundações e seus efeitos estruturais: análise de casos e soluções aplicadas.** 2022. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

MEIRA, Sheila; GOMES, Roziani M. **Trincas e fissuras nas construções por infiltração: origem, causas e soluções da patologia.** 2024. 18 f. Grupo Educacional FUPAC – UNIPAC, Ponte Nova, 2024.

NUNES, Sarah; GREGÓRIO, Thamyris. **Análise de manifestações patológicas em uma estrutura de concreto armado: um estudo de caso em uma instituição de ensino.** 2024. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Instituto Federal da Paraíba, Campus Cajazeiras, 2024.

OLIVEIRA, Heloise. **Uma discussão sobre a corrosão do aço induzida por íons cloreto e carbonatação em estruturas de concreto armado.** 2019. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

OLIVEIRA, Jorge; NASCIMENTO, Raíssa; PEREIRA, Bárbara et al. **Inspeção predial e avaliação das manifestações patológicas do subsolo em edificação residencial localizada**

no Distrito Federal – Estudo de caso Condomínio Residencial 116 Norte. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÃO E PERÍCIAS, 2017, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu: CONFEA, 2017.

RIGO, Eduardo; OLIVEIRA, Cede; POSSAN, Edna. **Aplicação de modelagem matemática para fins de previsão de vida útil de estruturas de concreto sujeitas à ação de CO₂**. SIMPÓSIO PARANAENSE DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES – SPPC, 3., 2018, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: UTFPR, 2018. p. 245–256.

SILVA, Érick Guckert da et al. **Fissuras, trincas e rachaduras em estruturas de concreto armado e alvenaria convencional**: um estudo sobre seu mecanismo de formação e processo para correção. Revista Unicrea, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 199–217, jan.–mar. 2023. Disponível em: <https://revista.unicrea.com.br/index.php/revistaunicrea/article/view/16>. Acesso em: 3 jun. 2025.

SILVA, Leonardo. **Análise de patologias e inconformidades de obras de artes especiais em Uberlândia – MG**. 2019. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

SILVA, Maria Alaiza Lino Alves da; LAURSEN, Anderson. **Patologias da construção civil**: investigação patológica em edifício comercial de Caruaru – PE. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, ano 7, ed. 11, v. 12, p. 69–85, nov. 2022.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete**. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

APÊNDICE A - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

Tabela 20 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

Manifestação Patológica	Nível	Descrição
Eflorescência	1	Manchas esbranquiçadas de grandes dimensões com formação de estalactites.
	2	Manchas esbranquiçadas de grandes dimensões.
	3	Manchas esbranquiçadas de pequenas dimensões.
	4	Sem indícios de eflorescência.
Cobrimento Deficiente	1	Cobrimento deficiente com exposição e perda de massa das armaduras.
	2	Cobrimento deficiente com exposição da armadura.
	3	Cobrimento até 5mm abaixo do que a norma NBR 6118 estabelece.
	4	Cobrimento conforme a norma NBR 6118.
Corrosão de Armadura	1	Armadura exposta com intensa corrosão.
	2	Corrosão de armadura pontual com início de deslocamento do concreto.
	3	Armadura exposta sem corrosão ou pequenas manchas no concreto com cor característica de ferrugem.
	4	Sem indícios de corrosão.
Desagregação	1	Perda acentuada de seção e desagregação do concreto.
	2	Manifestações leves, início de desagregação do concreto.
	3	Início de desagregação da camada superficial do concreto.
	4	Sem indícios de desagregação.
Desplacamento	1	Desplacamento acentuado com perda relevante de concreto.
	2	Desplacamento de grandes proporções de concreto.
	3	Início do deslocamento em pequenas proporções de concreto.
	4	Sem indícios de deslocamento.
Segregação	1	Separação do material graúdo da pasta de cimento bem aparente, com o surgimento de ninhos de concretagem.
	2	Perceptível separação do material graúdo da pasta de cimento.
	3	Pequenos vazios/falhas na estrutura de concreto.
	4	Sem indícios de segregação

Tabela 20 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

(Continuação)

Manifestação Patologia	Nível	Descrição
Fissura	1	Fissuração acima de 0,3 mm maior que o admissível pela norma NBR 6118.
	2	Fissuração até 0,3 mm maior que o admissível pela norma NBR 6118.
	3	Fissuração dentro da admissível pela norma NBR 6118.
	4	Sem indícios de aberturas
Flecha	1	Flecha aparente, acima de 40% do previsto na norma NBR 6118.
	2	Flecha aparente, superiores em até 40% às previstas na norma NBR 6118.
	3	Flecha aparente a olho nu, mas sem indícios de fissuração.
	4	Sem indícios de flechas.
Infiltração	1	Manchas de umidade com bolor e início de deslocamento de revestimento.
	2	Manchas de umidade com bolor.
	3	Indícios de manchas de umidade.
	4	Sem Indícios de Infiltração.
Desvio de geometria	1	Desvios acima de 5 mm maiores que o admissível pela norma NBR 14931.
	2	Desvios até 5 mm maiores que a o admissível pela norma NBR 14931.
	3	Desvios dentro da tolerância admissível pela norma NBR 14931.
	4	Sem indícios de desvios

Tabela 20 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

(Continuação)

Manifestação Patologia	Nível	Descrição
Esmagamento do concreto	1	Esmagamento severo, com grande parte do concreto desintegrado. Exposição e possível deformação da armadura, além de trincas que podem se estender por toda a seção estrutural.
	2	Áreas de concreto com esmagamento visível, trincas mais profundas e desagregação parcial do material. Aço de armadura pode começar a ser exposto.
	3	Fissuras visíveis com sinais de compressão evidente em algumas áreas, mas sem grandes perdas de material.
	4	Sem indícios esmagamento.
Recalque	1	Fissuração (45°) em elementos estruturais, acima dos limites admissíveis pela norma.
	2	Início de fissuração (45°) em elementos estruturais, dentro dos limites admissíveis pela norma.
	3	Início de fissuração (45°) em elementos não estruturais.
	4	Sem indícios de recalques.
Dano em Junta de Dilatação	1	Fissuras profundas, vedação muito comprometida, presença de corrosão ou deslocamento evidente das juntas.
	2	Surgimento de fissuras, presença de rachaduras ou perda parcial da vedação nas juntas.
	3	Obstrução da junta de dilatação por acúmulo de materiais.
	4	Sem indícios de danos e obstruções.

Fonte: Adaptado de Verly (2015) pelo autor.

APÊNDICE B – Listagem dos danos aplicados no método GDE/UnB

Tabela 21 – Listagem dos danos aplicados no método GDE/UnB

Família	Elemento Estrutural	Dano	Fi	Fp	D	GDE
Laje	Laje B1	Corrosão de Armadura	3	5	40,0	15,6
Laje	Laje B1	Desplacamento	3	3	24,0	
Laje	Laje B3	Corrosão de Armadura	3	5	40,0	15,6
Laje	Laje B3	Desplacamento	3	3	24,0	
Laje	Laje B15	Eflorescência	2	2	3,2	2,1
Laje	Laje D1	Erosão	1	3	2,4	1,7
Laje	Laje D3	Corrosão de Armadura	3	5	40,0	15,6
Laje	Laje D3	Desplacamento	3	3	24,0	
Laje	Laje D12	Corrosão de Armadura	3	5	40,0	15,6
Laje	Laje D12	Desplacamento	3	3	24,0	
Laje	Laje E2	Corrosão de Armadura	3	5	40,0	16,2
Laje	Laje E2	Desplacamento	3	3	24,0	
Laje	Laje E2	Fissuras	1	2	1,6	2,9
Laje	Laje E3	Desplacamento	2	3	4,8	
Laje	Laje E10	Corrosão de Armadura	3	5	40,0	15,6
Laje	Laje E10	Desplacamento	3	3	24,0	
Pilar	Pilar A10	Infiltração	2	4	6,4	3,7
Pilar	Pilar A10	Danos em Juntas de Dilatação	2	3	4,8	
Pilar	Pilar A11	Infiltração	2	4	6,4	3,7
Pilar	Pilar A11	Danos em Juntas de Dilatação	2	3	4,8	
Pilar	Pilar A12	Erosão	1	3	2,4	1,7
Pilar	Pilar A16	Erosão	1	3	2,4	1,7
Pilar	Pilar A18	Eflorescência	2	2	3,2	2,1
Pilar	Pilar A20	Erosão	1	3	2,4	1,7
Pilar	Pilar A26	Erosão	1	3	2,4	1,7
Pilar	Pilar A6	Erosão	1	3	2,4	1,7
Pilar	Pilar A9	Erosão	1	3	2,4	1,7
Pilar	Pilar B12	Erosão	1	3	2,4	1,7
Pilar	Pilar B18	Danos em Juntas de Dilatação	2	3	4,8	2,9
Pilar	Pilar B26	Erosão	1	3	2,4	1,7
Pilar	Pilar D10	Danos em Juntas de Dilatação	2	3	4,8	2,9
Pilar	Pilar D11	Danos em Juntas de Dilatação	2	3	4,8	2,9
Pilar	Pilar D12	Erosão	1	3	2,4	1,7
Pilar	Pilar D18	Danos em Juntas de Dilatação	2	3	4,8	2,9
Pilar	Pilar D19	Danos em Juntas de Dilatação	2	3	4,8	2,9
Pilar	Pilar D26	Fissuras	1	4	3,2	2,1
Pilar	Pilar E9	Erosão	1	3	2,4	1,7
Viga	Viga D23	Desplacamento	3	3	24,0	15,6

Tabela 21 – Listagem dos danos aplicados no método GDE/UnB
(Continuação)

Família	Elemento Estrutural	Dano	Fi	Fp	D	GDE
Viga	Viga D23	Corrosão de Armadura	3	5	40,0	1,7
Viga	Viga D52	Fissuras	1	3	2,4	
Viga	Viga C8	Danos em Juntas de Dilatação	2	3	4,8	2,9
Viga	Viga C16	Danos em Juntas de Dilatação	2	3	4,8	2,9
Viga	Viga C16	Infiltração	2	3	4,8	
Viga	Viga C17	Danos em Juntas de Dilatação	2	3	4,8	2,9
Viga	Viga C17	Infiltração	2	3	4,8	
Viga	Viga C1	Erosão	1	3	2,4	1,7
Viga	Viga C3	Cobrimento deficiente	2	3	4,8	2,9
Viga	Viga C4	Eflorescência	1	2	1,6	1,3
Viga	Viga C7	Fissuras	1	2	1,6	1,3
Viga	Viga C14	Eflorescência	1	2	1,6	1,3
Viga	Viga C20	Fissuras	1	2	1,6	1,3
Viga	Viga C26	Fissuras	1	3	2,4	1,7
Contraventamento	C5	Desplacamento	3	3	24,0	12,5

Fonte: Autoria própria (2025)

APÊNDICE C – Listagem dos danos aplicados no método GIE

Tabela 22 – Listagem dos danos aplicados no método GIE

(Continuação)

Família	Elemento estrutural	Eflorescência			Cobrimento Deficiente			Corrosão de Armadura			Degradação			Deslocamento			Fissuras			Flecha			Desvio de Geometria			Esmagamento do Concreto			Recalque			Danos em Juntas de Dilatação			Erosão			Gie			
		Fi	Fp	I	Fi	Fp	I	Fi	Fp	I	Fi	Fp	I	Fi	Fp	I	Fi	Fp	I	Fi	Fp	I	Fi	Fp	I	Fi	Fp	I	Fi	Fp	I	Fi	Fp	I							
		Viga	Viga E43	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4		5	16	31
Viga	Viga E44	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E45	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E46	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E47	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E48	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E49	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E5	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E50	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E51	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E52	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E53	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E54	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E55	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E56	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E57	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E58	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E59	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E6	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E60	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E7	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E8	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31
Viga	Viga E9	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	4	5	16	31

Fonte: Autoria própria (2025)