

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL DE ILHA SOLTEIRA – FEIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

FELIPE CABRERA HURTADO

PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
ESTUDO TÉCNICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO

Ilha Solteira - SP

2025

FELIPE CABRERA HURTADO

PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

**ESTUDO TÉCNICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Jorge Luís Akasaki

Orientador

Ilha Solteira

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- H967e Hurtado, Felipe Cabrera.
Estudo técnico das anifestações patológicas em estruturas de concreto armado / Felipe Cabrera Hurtado. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
49 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2025
- Orientador: Jorge Luís Akasaki
- Inclui bibliografia
1. Patologia das construções. 2. Concreto armado. 3. Fissuras. 4. Corrosão.
6. Manutenção preventiva.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: **FELIPE CABRERA HURTADO**

Título: **“ESTUDO TÉCNICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO”**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JORGE LUIS AKASAKI**
Data: 18/06/2025 17:18:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO BORTOLETTO**
Data: 18/06/2025 17:10:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Bortoletto
(Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **GEAN PEREIRA DA SILVA JUNIOR**
Data: 18/06/2025 17:14:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. MSc. Gean Pereira da Silva Junior
(Examinador)

Ilha Solteira

18/06/2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por todos os direcionamentos e orientações deixados na bíblia, e por me dar um propósito para ser melhor todos os dias.

A minha família e principalmente minha mãe por todo o suporte e aconselhamento que apenas a melhor mãe poderia dar.

Aos Professores Artur Pantoja Marques e Cláudia Scoton Antonio Marques pelo apoio e confiança de me proporcionarem oportunidades únicas de crescimento dentro do curso.

Ao meu orientador, Professor Jorge Luís Akasaki, por toda orientação, sugestão e confiança proporcionada para elaboração deste trabalho e por todo ensino sobre o tema.

E a todos os amigos que fiz nessa jornada, especialmente ao Augusto Rangel e ao Matheus Oliveira por renderem momentos de descontração e parceria neste período.

“Observei ainda e vi que debaixo do sol não é dos ligeiros a carreira, nem dos fortes a peleja, nem tampouco dos sábios o pão, nem ainda dos prudentes a riqueza, nem dos entendidos o favor; mas que a ocasião e a sorte ocorrem a todos.”

(Eclesiastes 9:11)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar as principais manifestações patológicas que ocorrem em estruturas de concreto armado, por meio de uma revisão bibliográfica aprofundada e estudo técnico de casos ilustrativos. A pesquisa caracteriza-se como qualitativa e exploratória, fundamentando-se em normas técnicas da ABNT e obras de referência da engenharia civil. São abordados temas como fissuras, trincas, eflorescência, corrosão das armaduras, flambagem e carbonatação, com foco nas causas, consequências e tratamentos adequados para cada tipo de patologia. Além disso, são discutidos aspectos fundamentais da execução, como fôrmas, escoramentos, concretagem e utilização de elementos pré-moldados, bem como a importância da manutenção preventiva e das inspeções periódicas. O estudo reforça que a prevenção, o controle tecnológico e o diagnóstico precoce são indispensáveis para garantir a durabilidade e a segurança das edificações. Conclui-se que a correta aplicação das normas técnicas, aliada à fiscalização e manutenção contínua, pode minimizar significativamente a ocorrência de falhas estruturais.

Palavras-chave: Patologia das construções. Concreto armado. Fissuras. Corrosão. Manutenção preventiva.

ABSTRACT

This study aims to analyze the main pathological manifestations found in reinforced concrete structures, through an in-depth bibliographic review and technical analysis of illustrative cases. The research is characterized as qualitative and exploratory, based on Brazilian technical standards (ABNT) and authoritative sources in civil engineering. Topics such as cracking, fissuring, efflorescence, reinforcement corrosion, buckling, and carbonation are addressed, focusing on their causes, consequences, and proper treatment methods. Additionally, the study discusses key aspects of structural execution, including formwork, shoring, concreting, and the use of precast concrete elements, as well as the importance of preventive maintenance and regular inspections. The findings highlight that prevention, technological control, and early diagnosis are essential to ensure the durability and safety of buildings. It is concluded that the correct application of technical standards, combined with supervision and continuous maintenance, can significantly reduce the occurrence of structural failures.

Keywords: Building pathology. Reinforced concrete. Cracking. Corrosion. Preventive maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de escoramento de laje.....	16
Figura 2 - Foto de fôrmas de vigas pré-moldadas.....	18
Figura 3 - Foto do içamento de uma viga pré-moldada.....	19
Figura 4 - Procedimento do Slump Test.....	22
Figura 5 - Exemplo de projeto de linhas de eixo.	26
Figura 6 - Exemplo de erro de projeto.....	27
Figura 7 - Foto de um madeirite de baixa qualidade.	28
Figura 8 - Foto da base de um pilar mostrando um exemplo de desagregação.	29
Figura 9 - Foto de uma fôrma de viga pré-moldada sem as intervenções corretivas.	30
Figura 10 - Foto de uma viga pré-moldada já posicionada sem o cobrimento mínimo de concreto, expondo a armadura do elemento.....	35
Figura 11 - Foto de armadura exposta numa junta de concretagem.....	39
Figura 12 - Foto de uma fissura em laje recém concretada.	40
Figura 13 - Foto de uma trinca diagonal na parte superior de uma porta.....	41
Figura 14 - Foto de uma rachadura numa escada pré-moldada.	42
Figura 15 - Foto de uma Laje maciça com pontos de eflorescência.	43
Figura 16 - Foto de escoramentos de viga (elemento sem flambagem).	44
Figura 17 - Foto de escoramentos exemplificando a flambagem em laje.	45

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	13
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
3.1 Estrutura convencional de concreto armado.....	14
3.1.1 Cálculo das estruturas de concreto armado.....	14
3.1.2 Planejamento e organização do canteiro de obras.....	14
3.1.3 Execução das estruturas de concreto armado.....	14
3.1.3.1 Fôrmas e escoramentos.....	15
3.1.3.2 Armaduras.....	16
3.1.3.3 Elementos pré-moldados.....	17
3.1.3.3.1 Vantagens da pré-moldagem.....	18
3.1.3.3.2 Principais aplicações.....	18
3.1.3.4 Concretagem.....	20
3.1.4 Características do concreto e seus tipos de resistência.....	23
3.2 Caracterização das patologias da construção.....	24
3.2.1 Patogenia das manifestações patológicas.....	24
3.3 Patologia em concreto armado.....	30
3.3.1 Fissuras.....	30
3.3.2 Trincas.....	31
3.3.3 Eflorescência.....	31
3.3.4 Deflexão lateral (flambagem).....	31
3.3.5 Carbonatação.....	31
3.3.6 Corrosão da armadura.....	33
3.4 Manutenção preventiva e inspeções periódicas.....	35
4 METODOLOGIA.....	37
4.1 Tipo de pesquisa.....	37
4.2 Realização do estudo e critérios de amostragem.....	37
4.3 Procedimentos metodológicos.....	37

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1 Caracterização da literatura abordada.....	38
5.2 Análise dos resultados obtidos por diferentes tipos de patologia...	38
5.2.1 Corrosão da armadura.....	38
5.2.2 Fissuras.....	40
5.2.3 Trincas.....	41
5.2.4 Rachaduras.....	42
5.2.5 Eflorescência.....	43
5.2.6 Flambagem.....	43
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

A construção civil exerce um papel fundamental no desenvolvimento das cidades e na melhoria da qualidade de vida da população. No entanto, apesar dos avanços tecnológicos em diversos setores, ainda se observam, nesse campo, práticas tradicionais e defasadas que comprometem a eficiência, a durabilidade e a segurança das edificações. Segundo Rios et al. (2020), a avaliação e a previsão do desempenho e da durabilidade das construções surgem como uma necessidade essencial para garantir conforto e segurança aos usuários.

Gonçalves (2015) destaca que a utilização de métodos construtivos ultrapassados, somada à resistência à inovação por parte do setor, contribui significativamente para o surgimento precoce de manifestações patológicas nas edificações. Essas anomalias, especialmente quando ocorrem em estruturas de concreto armado, comprometem não apenas a integridade da construção, mas também sua vida útil, resistência mecânica e capacidade de suportar ações externas (FERREIRA, 2018).

O concreto, por sua vez, é um dos materiais mais utilizados na construção civil, devido à sua versatilidade, resistência e baixo custo. É composto por cimento Portland, água, agregados miúdos e graúdos, podendo também receber aditivos químicos e minerais com a finalidade de melhorar seu desempenho (GRANATO, 2012; KAEFER, 1998). Quando associado à armadura de aço, forma-se o concreto armado, que alia as características de resistência à compressão do concreto com a resistência à tração do aço, possibilitando estruturas mais robustas e duráveis (BASTOS, 2006).

Entretanto, conforme apontado por Souza e Ripper (1988), o uso massivo do concreto armado, muitas vezes sem os devidos cuidados técnicos, pode gerar diversas manifestações patológicas, como fissuras, trincas, flambagem, corrosão, eflorescência, desagregação e manchas. Tais problemas são frequentemente causados por falhas na execução, escolha inadequada de materiais, desrespeito às etapas construtivas ou uso incorreto da estrutura (CIRINO et al., 2020).

Neste contexto, destaca-se a importância da engenharia diagnóstica, que, por meio de perícias e inspeções técnicas, busca identificar e solucionar tais manifestações patológicas. Moraes (2017) enfatiza que, por se tratar de elementos estruturais, essas falhas representam risco iminente à segurança dos usuários, tornando indispensável a atuação técnica especializada.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar, por meio de revisão de literatura, as principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, bem como apresentar soluções práticas propostas por diferentes autores. Ao aprofundar a compreensão sobre as causas, consequências e medidas corretivas dessas anomalias, este trabalho visa contribuir para o desenvolvimento de práticas construtivas mais seguras, duráveis e eficientes.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO

3.1.1. CÁLCULO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O cálculo estrutural do concreto armado segue os princípios da resistência dos materiais e da mecânica estrutural. De acordo com a NBR 6118:2023, o dimensionamento das seções estruturais deve ser realizado considerando os esforços solicitantes, tais como momento fletor, esforço cortante e esforço normal. As principais verificações incluem:

- Dimensionamento das seções de vigas e lajes: realizado pelo método dos estados limites.
- Cálculo das armaduras: deve-se garantir que a quantidade e o posicionamento das armaduras sejam suficientes para resistir aos esforços atuantes.
- Verificação da estabilidade global da estrutura: envolve a análise de deslocamentos, flambagem e efeitos de segunda ordem.
- Critérios de fissuração e deformação: devem ser respeitados para garantir o desempenho adequado da estrutura ao longo de sua vida útil.

3.1.2. PLANEJAMENTO E ORGANIZAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS

O planejamento adequado do canteiro de obras é essencial para garantir um fluxo eficiente de trabalho e minimizar desperdícios. Segundo a NBR 14931:2023, a organização do canteiro deve considerar a logística, o armazenamento de materiais e a disposição temporária de resíduos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023).

3.1.3. EXECUÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A execução adequada de estruturas de concreto armado é fundamental para prevenir patologias na construção civil. A conformidade com normas técnicas, como a

ABNT NBR 14931:2023, é essencial para assegurar a qualidade e a durabilidade das edificações.

3.1.3.1. FÔRMAS E ESCORAMENTOS

A correta instalação, utilização e remoção de fôrmas e escoramentos é essencial para garantir a geometria adequada das peças estruturais, a segurança durante a concretagem e a qualidade final da estrutura de concreto armado. Conforme estabelecido pela ABNT NBR 14931:2023, as fôrmas devem ser suficientemente estanques para evitar o vazamento da pasta cimentícia e resistir às pressões do concreto fresco sem deformações.

Além disso, a escolha do tipo de fôrma (metálica, plástica ou de madeira) deve considerar o tipo da estrutura, as condições de reaproveitamento, o acabamento desejado e a viabilidade econômica. O mau uso das fôrmas pode ocasionar falhas geométricas, segregação do concreto e manchas superficiais (HELENE, 2011).

O escoramento, por sua vez, é responsável por suportar as cargas da estrutura até que o concreto adquira resistência suficiente para se sustentar. A retirada prematura dos escoramentos é uma das causas mais recorrentes de patologias como fissuras, deformações excessivas e até colapsos parciais (NEVILLE, 2016).

Segundo a ABNT NBR 14931:2023, a desforma e a retirada do escoramento devem respeitar os seguintes critérios:

- Verificação da resistência do concreto, especialmente nos pontos de apoio e nas zonas críticas;
- Condições climáticas durante o período de cura;
- Tipo de cimento e dosagem do concreto;
- Instruções específicas do projeto estrutural.

Helene (2011) observa que, para evitar manifestações patológicas, é essencial que os escoramentos sejam mantidos por tempo suficiente, garantindo que o concreto atinja a resistência mínima especificada, conforme verificado por ensaios como o de compressão axial (ABNT NBR 5739:2018). A Figura 1 apresenta um exemplo de escoramento de laje.

Figura 1 - Exemplo de escoramento de laje



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, Fusco (2002) destaca que escoramentos mal posicionados ou mal alinhados durante o lançamento do concreto podem causar deformações permanentes na estrutura ou desequilíbrio no carregamento temporário da obra.

3.1.3.2. ARMADURAS

A correta instalação das armaduras é essencial para garantir o desempenho estrutural das edificações em concreto armado. Segundo a ABNT NBR 6118:2023, as armaduras devem ser posicionadas conforme o projeto estrutural e fixadas adequadamente para resistir às ações de lançamento e adensamento do concreto, mantendo a integridade da seção transversal da peça.

O cobrimento das armaduras é um dos principais fatores a serem respeitados, pois atua como barreira física contra agentes agressivos externos, como cloretos, sulfatos e dióxido de carbono, prevenindo a corrosão do aço. A norma especifica valores mínimos de cobrimento de acordo com o ambiente de exposição e o tipo de elemento estrutural (ABNT, 2023). Além disso, as armaduras devem ser cuidadosamente limpas e isentas de óleo, graxa ou ferrugem solta antes da concretagem, pois esses contaminantes comprometem a aderência entre o aço e o concreto, reduzindo a capacidade de transferência de esforços (HELENE, 2011).

Durante a montagem, é imprescindível o uso de espaçadores plásticos ou argamassados para garantir o cobrimento e a estabilidade das armaduras. Armaduras

deslocadas durante a concretagem ou mal posicionadas podem gerar falhas graves na estrutura, como perda de capacidade resistente e aumento da fissuração (NEVILLE, 2016).

As armaduras podem ser classificadas em dois grupos principais:

Armadura longitudinal: responsável por resistir aos esforços de tração e compressão;

Armadura transversal (estribos): destinada ao combate aos esforços cortantes e ao confinamento do concreto, principalmente em pilares e regiões críticas de vigas.

Mehta e Monteiro (2014) reforçam que a ancoragem e o emendamento das barras devem seguir critérios rigorosos para garantir a continuidade da armadura e evitar deslizamentos. As emendas podem ser feitas por sobreposição ou soldagem, sendo necessário seguir os limites estabelecidos em projeto.

Outro ponto importante é o respeito ao diâmetro mínimo de curvatura nas dobras das armaduras, evitando fissuração do concreto nas regiões curvas e concentradoras de tensão (FUSCO, 2002).

3.1.3.3. ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS

Os elementos pré-moldados de concreto constituem uma técnica construtiva amplamente utilizada em obras de pequeno, médio e grande porte, trazendo ganhos significativos em produtividade, qualidade, sustentabilidade e racionalização dos processos. Diferentemente do concreto moldado in loco, os elementos pré-moldados são produzidos em ambientes industriais controlados, o que assegura melhores condições de controle tecnológico, cura, acabamento e precisão dimensional (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A Figura 2 mostra um exemplo de concretagem de vigas pré-moldadas:

Figura 2 - Foto de fôrmas de vigas pré-moldadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.3.3.1. VANTAGENS DA PRÉ-MOLDAGEM

A adoção de sistemas construtivos com peças pré-moldadas oferece diversas vantagens, entre as quais destacam-se:

- Rapidez de execução: Redução dos prazos de obra devido à possibilidade de paralelismo entre fabricação e execução dos serviços no canteiro (FUSCO, 2002);
- Qualidade do concreto: A produção em ambiente fabril permite controle rigoroso dos materiais, dosagem, compactação e cura do concreto;
- Redução de resíduos: A industrialização minimiza perdas de materiais no canteiro, contribuindo para a sustentabilidade da construção;
- Menor interferência climática: A fabricação em local coberto evita atrasos por chuva e variações ambientais durante a concretagem;
- Segurança: Sistemas bem projetados permitem montagem mais limpa, com menor risco de acidentes.

3.1.3.3.2. PRINCIPAIS APLICAÇÕES

Os elementos pré-moldados são amplamente utilizados em componentes como: Vigas e pilares estruturais, lajes alveolares, nervuradas ou treliçadas, escadas, rampas

e patamares, paredes estruturais ou de vedação, painéis de fachadas, reservatórios, fundações e muros de contenção.

A Figura 3, a seguir, apresenta a principal forma de uso dos elementos pré-moldados. É possível verificar o posicionamento do elemento de concreto sendo içado por um guindaste e apoiado por escoras metálicas em pilares já concretados. Esse tipo de uso permite a colocação rápida e prática das vigas em seu devido lugar.

Figura 3 - Foto do içamento de uma viga pré-moldada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar das inúmeras vantagens, o uso de elementos pré-moldados exige planejamento detalhado desde a fase de projeto, além de cuidados técnicos específicos:

- Transporte e içamento: As peças devem ser transportadas com dispositivos apropriados e içadas com equipamentos compatíveis com o peso e centro de gravidade da peça;

- Alinhamento e nivelamento: A precisão na montagem é essencial para o desempenho estrutural. Desvios podem comprometer a estabilidade e a integridade das conexões;
- Conexões entre peças: Podem ser secas (metálicas, soldadas ou parafusadas) ou úmidas (com graute ou argamassa de ligação). Devem garantir a continuidade estrutural;
- Controle de fissuração: As peças devem ser projetadas para suportar esforços de transporte, montagem e serviço. Fissuras podem surgir por movimentações térmicas ou deformações não previstas;
- Fundações e apoio: A fundação deve estar perfeitamente executada para permitir o correto posicionamento das peças;
- Inspeção das peças: Antes da montagem, deve-se verificar integridade, fôrmas, armaduras expostas, presença de trincas, lascas ou falhas de concretagem.

Segundo a ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e Execução de Estruturas Pré-Moldadas de Concreto, todos os processos – desde o projeto até a montagem – devem seguir critérios normativos para garantir o desempenho, segurança e durabilidade da edificação.

3.1.3.4. CONCRETAGEM

A concretagem é uma das etapas mais críticas na execução de estruturas de concreto armado, exigindo cuidados rigorosos para garantir a durabilidade e o desempenho da edificação. De acordo com a ABNT NBR 14931:2023, o processo deve ser realizado de forma contínua, com controle rigoroso da qualidade do concreto e das condições ambientais.

Durante o lançamento, a altura da queda do concreto não deve ultrapassar 2 metros para evitar segregação dos agregados (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A concretagem deve ser executada em camadas horizontais, garantindo o correto adensamento com o uso de vibradores mecânicos. A má utilização ou ausência do vibrador pode resultar em vazios, falhas de preenchimento e perda de aderência entre o concreto e as armaduras (HELENE, 2011).

Outro ponto de atenção é o controle da temperatura do concreto, especialmente em grandes volumes, para evitar a formação de fissuras térmicas. A ABNT NBR 14931:2023 orienta que o concreto deve ser protegido contra a perda rápida de água, utilizando lonas plásticas ou produtos de cura, reduzindo a ocorrência de fissuração plástica precoce.

As juntas de concretagem devem ser previamente planejadas e executadas com cuidado para garantir a aderência entre as camadas e evitar descontinuidades que comprometam a estrutura (PEREIRA, 2013).

Por fim, após o lançamento, deve-se garantir a cura adequada do concreto, preferencialmente úmida, durante pelo menos sete dias, conforme recomendação da ABNT NBR 5738:2015, o que contribui significativamente para o ganho de resistência e durabilidade ao longo do tempo (BASTOS, 2006)

A concretagem é o processo de lançamento do concreto fresco nas fôrmas previamente armadas e preparadas. Para que o resultado seja satisfatório, o concreto deve apresentar características adequadas de consistência, resistência e trabalhabilidade, sendo comum a realização do ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test) antes do lançamento.

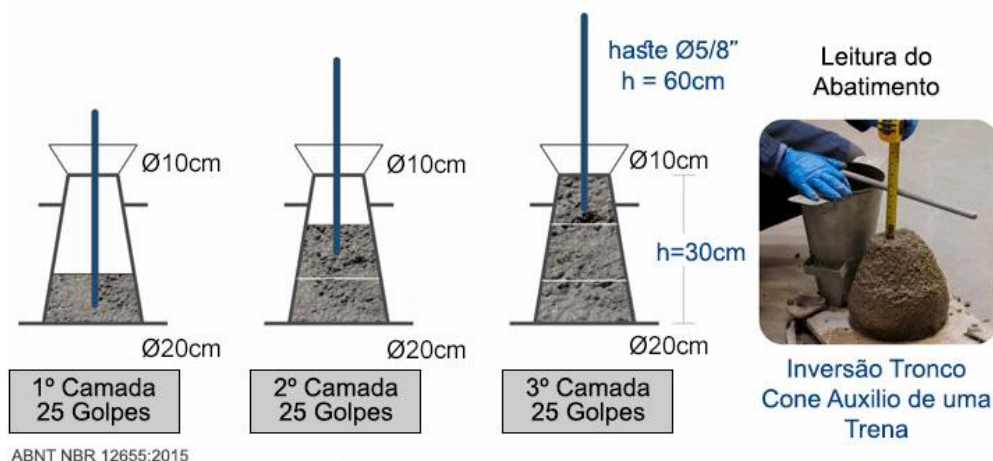
O teste de abatimento do tronco de cone, ou slump test, é utilizado para medir a consistência do concreto fresco. Ele é executado da seguinte maneira:

1. Utiliza-se um molde em forma de tronco de cone metálico, com 30 cm de altura, 20 cm de diâmetro na base inferior e 10 cm na base superior.
2. O molde é colocado sobre uma superfície rígida e úmida, sendo preenchido com concreto fresco em três camadas de volumes iguais.
3. Cada camada é adensada com uma haste metálica (de aproximadamente 60 cm) por 25 golpes uniformemente distribuídos.
4. Após o preenchimento, o molde é cuidadosamente retirado na vertical, permitindo o abatimento natural do concreto.

5. Mede-se a diferença entre a altura original do molde e a altura do centro do concreto abatido.

A Figura 4 mostra o procedimento do Slump Test:

Figura 4 - Procedimento do Slump Test



Fonte: SPGO (2025).

O valor obtido indica a trabalhabilidade do concreto: um abatimento baixo sugere um concreto seco e de difícil manuseio, enquanto um abatimento muito alto pode indicar excesso de água, o que compromete a resistência final. Esse ensaio está normatizado pela ABNT NBR NM 67:1998.

Durante a concretagem, o lançamento deve ser contínuo, evitando interrupções que possam causar juntas frias ou desagregação do material. A altura máxima de lançamento deve ser controlada para evitar segregação dos componentes do concreto. O adensamento deve ser feito com vibradores mecânicos, promovendo a eliminação de bolhas de ar e garantindo o preenchimento completo das formas, sem danificar as armaduras ou deslocar seus espaçadores.

A NBR 14931:2023 estabelece diretrizes para o controle tecnológico do concreto, incluindo a verificação das propriedades no estado fresco e endurecido, além do controle de temperatura, principalmente em grandes volumes de concretagem. O controle da perda de água por evaporação também é fundamental, pois evita a formação de fissuras plásticas precoces.

3.1.4. CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO E SEUS TIPOS DE RESISTÊNCIA

O concreto é um material heterogêneo, composto basicamente por Cimento Portland, água, agregados miúdos e graúdos, e, eventualmente, aditivos e adições minerais. Sua eficiência como material estrutural deve-se à sua capacidade de adquirir alta resistência à compressão, durabilidade, molde em formas variadas e custo relativamente baixo (NEVILLE, 2016).

As principais características do concreto que influenciam seu desempenho estrutural são:

- **Trabalhabilidade:** Refere-se à facilidade de manuseio e colocação do concreto fresco. É avaliada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme a norma ABNT NBR NM 67:1998.
- **Compacidade:** Quanto maior a compacidade, menor será a porosidade do concreto endurecido, o que resulta em maior resistência e durabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2014).
- **Durabilidade:** Diz respeito à capacidade do concreto resistir à ação de agentes agressivos ao longo do tempo, como sulfatos, cloretos e ciclos de congelamento e descongelamento (PEREIRA, 2013).
- **Permeabilidade:** É a propriedade que influencia diretamente a durabilidade do concreto, uma vez que concretos menos permeáveis dificultam a penetração de agentes nocivos (HELENE, 2011).

O concreto apresenta três principais tipos de resistência mecânica:

- **Resistência à compressão:** É a principal propriedade mecânica do concreto, sendo medida pelo ensaio de compressão axial de corpos de prova cilíndricos (conforme ABNT NBR 5738:2015 e ABNT NBR 5739:2018). Essa resistência depende do fator água/cimento, da cura e da qualidade dos materiais constituintes.
- **Resistência à tração:** Considerada relativamente baixa no concreto, a resistência à tração justifica a necessidade da adição de armaduras de aço para suportar

esforços trativos (BASTOS, 2006). Pode ser avaliada por ensaios indiretos, como a tração por compressão diametral.

- Resistência à flexão: Refere-se à capacidade do concreto resistir a esforços combinados de tração e compressão. É especialmente relevante em elementos como vigas e lajes (NEVILLE, 2016).

Para melhorar seu desempenho, o concreto pode receber adições como sílica ativa, metacaulim e escória de alto-forno, ou aditivos plastificantes, superplastificantes e incorporadores de ar, conforme definido pela ABNT NBR 11768:2019.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO

3.2.1. PATOGENIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

A patogenia é o estudo do desenvolvimento e evolução das manifestações patológicas, buscando compreender como e por que determinadas falhas surgem, evoluem e comprometem a estrutura ao longo do tempo. Segundo Helene (2011), a análise da patogenia é fundamental para a correta identificação da origem do problema, auxiliando na proposição de intervenções adequadas e eficazes.

O processo patológico pode ser dividido em três etapas principais:

Gênese: Corresponde ao momento inicial da manifestação patológica, muitas vezes ainda imperceptível a olho nu. Pode estar associada a erros de projeto, falhas na execução ou uso inadequado de materiais (GONÇALVES, 2015).

Desenvolvimento: Neste estágio, os sintomas começam a se manifestar, como fissuras, manchas, trincas ou deformações. A evolução depende de fatores ambientais, cargas atuantes e ausência de manutenção corretiva (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Estado avançado ou agravamento: É quando a patologia compromete significativamente a funcionalidade e a segurança da estrutura. Nesta fase, intervenções emergenciais são geralmente necessárias para evitar colapsos ou riscos à integridade dos usuários (NEVILLE, 2016).

A compreensão da patogenia permite aos engenheiros diagnósticos identificar não apenas o sintoma visível, mas também a sua causa-raiz, contribuindo para soluções duradouras. Conforme aponta Santos (2014), sem o estudo da patogenia, as

intervenções podem ser paliativas, tratando apenas os efeitos superficiais sem eliminar o fator gerador.

Além disso, a patogenia está intimamente relacionada à vida útil da estrutura e à durabilidade dos materiais empregados, sendo essencial para o planejamento de manutenções preventivas e preditivas.

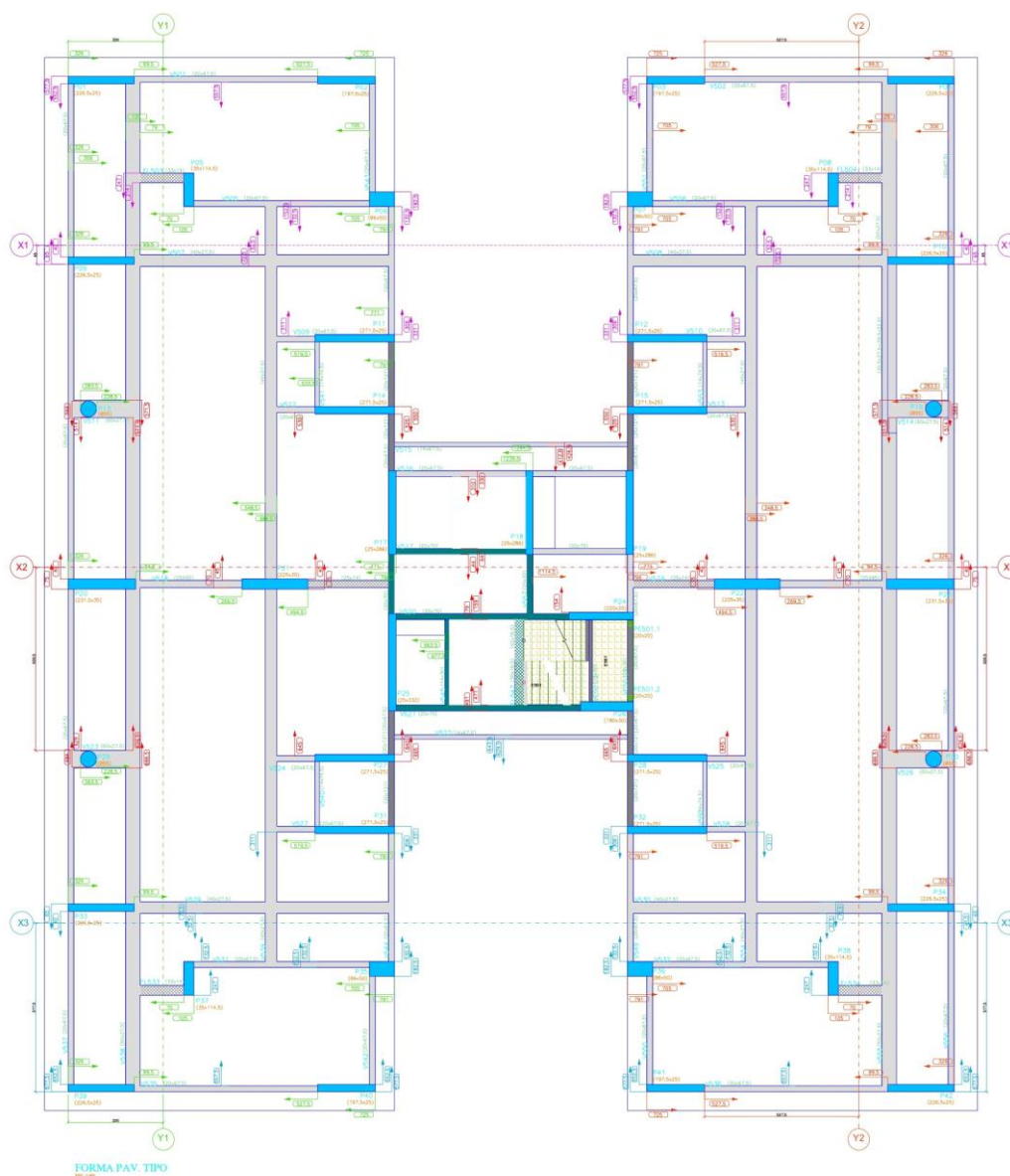
As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado podem surgir por uma série de causas inter-relacionadas, que envolvem desde falhas em projeto até deficiências na execução e manutenção. Segundo Helene (2011), essas anomalias refletem, em grande parte, a negligência com as boas práticas construtivas e o desrespeito às normas técnicas vigentes.

Dentre as principais origens das manifestações patológicas, destacam-se:

1. Projeto: A falta de compatibilização entre os projetos arquitetônico, estrutural e de instalações pode gerar interferências que comprometem a integridade da estrutura. Um projeto mal dimensionado pode não prever corretamente as cargas atuantes ou o comportamento dos materiais ao longo do tempo (GONÇALVES, 2015).

A Figura 5 mostra o projeto de linhas de eixo de um empreendimento vertical em que são mostradas as referências de medidas dos pilares do pavimento. Essas linhas são essenciais para a correta locação dos elementos estruturais de forma que subam todos na mesma direção vertical, de forma que os galgalhos são posicionados a partir das linhas de eixo previamente posicionadas em todos os pavimentos, conforme a estrutura é erguida.

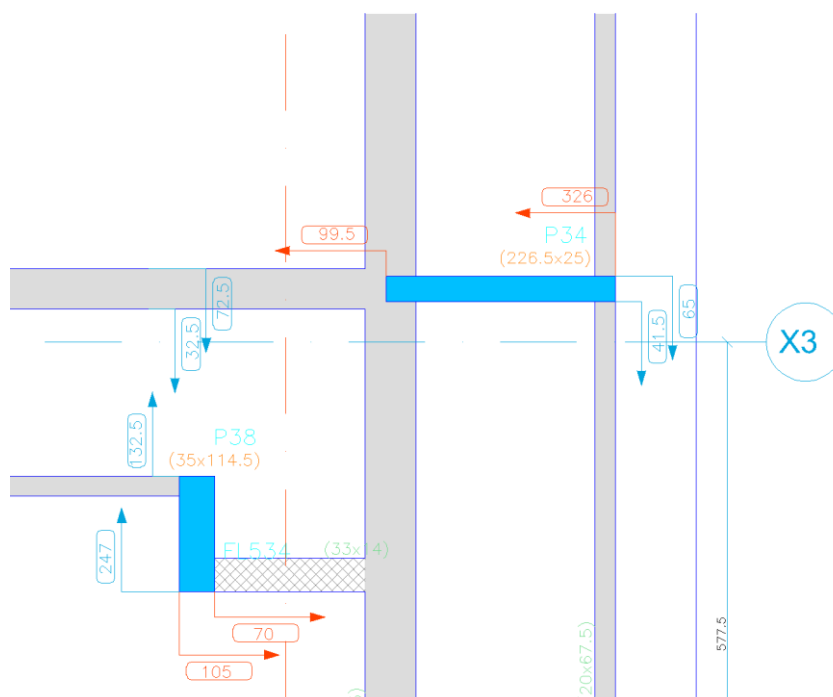
Figura 5 - Exemplo de projeto de linhas de eixo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já a Figura 6 indica um erro detectado em uma das medidas deste projeto que impossibilita a marcação correta da posição do galsthalho:

Figura 6 - Exemplo de erro de projeto.

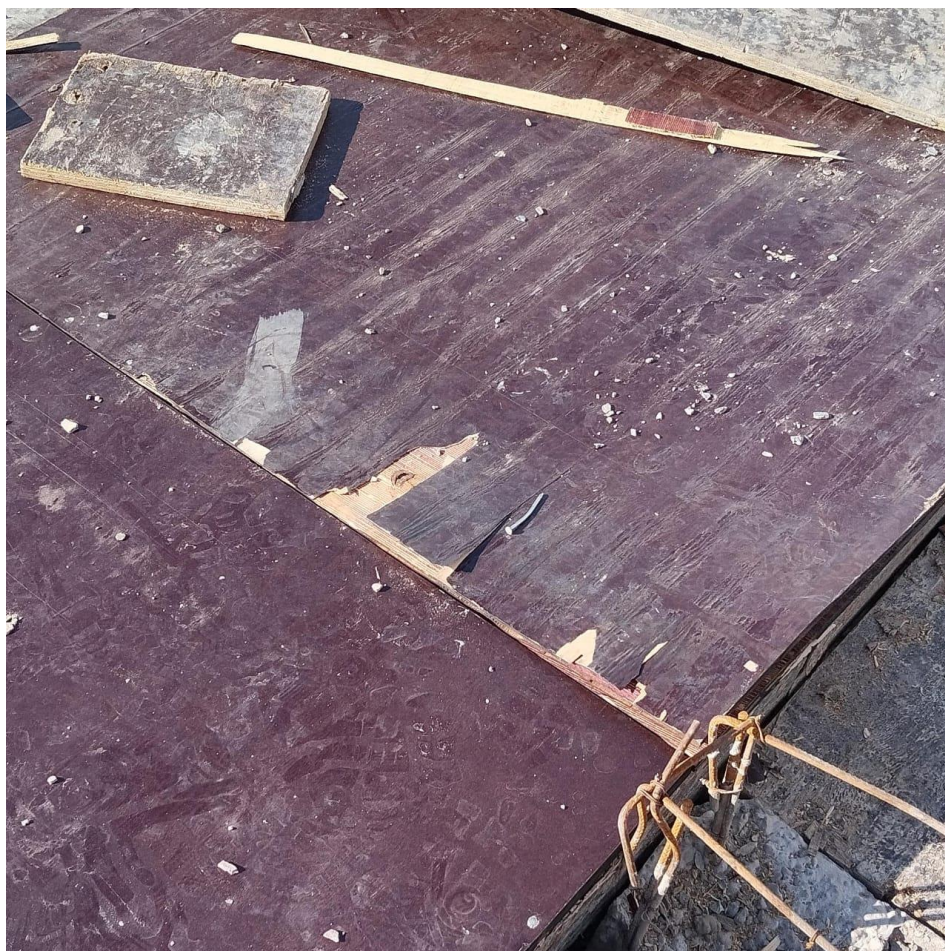


Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse caso, o projeto mostra o pilar P34 com dimensões 226,5x25 cm sendo que, pelas linhas de eixo, as dimensões seriam feitas pelas distâncias do elemento até a linha de eixo, nesse caso, $65 - 41,5 = 23,5$ cm. Portanto, as medidas não são condizentes com a realidade, caracterizando um erro de projeto.

2. Materiais: A utilização de insumos fora das especificações, como agregados contaminados, cimento vencido ou água não potável, afeta diretamente a resistência e a durabilidade do concreto. Mehta e Monteiro (2014) alertam que a qualidade dos materiais tem influência direta sobre a resistência à carbonatação, à penetração de cloretos e à corrosão das armaduras. A Figura 7 apresenta o exemplo de um material com baixa qualidade que será utilizado para receber o concreto da laje.

Figura 7 - Foto de um madeirite de baixa qualidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3. Execução: Falhas durante a concretagem, como adensamento inadequado, segregação, lançamento em altura excessiva e desforma precoce, são fontes recorrentes de patologias, como trincas, fissuras e desagregações (HELENE, 2011). A Figura 8 mostra um exemplo de desagregação do concreto em um elemento estrutural.

Figura 8 - Foto da base de um pilar mostrando um exemplo de segregação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4. Planejamento: O desrespeito aos prazos necessários para o correto endurecimento e ganho de resistência dos materiais, principalmente o concreto. Isso pode levar a manifestações patológicas como fissuras, desagregação, perda de aderência das armaduras e até colapsos parciais.
5. Uso: O uso incorreto da edificação ou a falta de inspeções periódicas e de intervenções corretivas pode permitir o agravamento de pequenas anomalias, levando a falhas estruturais significativas (SANTOS, 2014).

Figura 9 - Foto de uma fôrma de viga pré-moldada sem as intervenções corretivas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 9 apresenta o caso de uma fôrma de viga pré-moldada com sinais de desgaste. Nesse caso, a armadura já está posicionada para a concretagem indicando que o elemento será concretado nessas condições. A não correção da fôrma permite o surgimento de anomalias e possíveis falhas estruturais.

3.3. PATOLOGIA EM CONCRETO ARMADO

3.3.1. FISSURAS

As fissuras podem resultar de retração do concreto, sobrecargas ou falhas de execução. A NBR 6118:2023 orienta a avaliação da largura, extensão e padrão das fissuras para determinar a necessidade de intervenção (ABNT, 2023).

3.3.2. TRINCAS

As trincas são manifestações patológicas que podem ocorrer devido a tensões térmicas, retração do concreto ou sobrecargas estruturais. Elas podem comprometer a estética e, em casos mais graves, a segurança da edificação. O monitoramento das trincas e a adoção de técnicas corretivas, como injeção de resinas ou reforço estrutural, são essenciais para garantir a durabilidade da estrutura (HELENE, 2011).

3.3.3. EFLORESCÊNCIA

A eflorescência ocorre quando sais solúveis presentes no concreto são transportados pela umidade para a superfície, formando depósitos brancos. Esse fenômeno é mais comum em ambientes úmidos e pode ser minimizado com o uso de aditivos hidrofugantes e a adoção de um adequado controle da umidade na construção (PEREIRA, 2013).

3.3.4. DEFLEXÃO LATERAL (FLAMBAGEM)

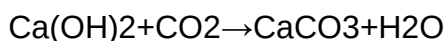
A flambagem é um fenômeno de instabilidade estrutural que ocorre quando elementos esbeltos, como pilares e vigas longas, sofrem deslocamentos laterais excessivos devido a cargas axiais. Esse problema pode ser evitado com um correto dimensionamento estrutural e a utilização de reforços, como contraventamentos e aumento da seção transversal dos elementos (BASTOS, 2017).

3.3.5. CARBONATAÇÃO

A carbonatação é um processo químico que ocorre naturalmente em estruturas de concreto expostas à atmosfera, resultando na redução do pH da matriz cimentícia e na consequente perda da passivação das armaduras, favorecendo o início da corrosão. Trata-se de uma das principais causas indiretas de corrosão em estruturas de concreto armado, especialmente quando há falhas no cobrimento ou presença de alta porosidade superficial (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Mecanismo do Fenômeno:

A carbonatação ocorre quando o dióxido de carbono (CO_2) presente no ar penetra nos poros do concreto e reage com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), produto da hidratação do cimento Portland, formando carbonato de cálcio (CaCO_3). A reação principal pode ser representada da seguinte forma:



Esse processo diminui o pH do concreto de valores superiores a 12,5 (nível de passivação) para valores abaixo de 9, condição que permite o início da corrosão das armaduras em presença de umidade e oxigênio (NEVILLE, 2016).

Diversos fatores podem acelerar ou retardar o avanço da frente de carbonatação no concreto:

- Baixo cobrimento das armaduras;
- Alta porosidade do concreto (relação água/cimento elevada);
- Falta de cura adequada durante os primeiros dias;
- Ambientes urbanos e industriais, com alta concentração de CO_2 ;
- Ausência de revestimentos protetores ou falhas de manutenção superficial (HELENE, 2011).

Detecção da Carbonatação:

A detecção do fenômeno de carbonatação pode ser feita por meio de ensaio com fenolftaleína, um método simples e eficaz de avaliação da alcalinidade do concreto. O teste consiste em aplicar uma solução de fenolftaleína a 1% em álcool sobre a superfície do concreto recém fraturado. As áreas com pH elevado (não carbonatadas) se tornam rosadas, enquanto as regiões carbonatadas permanece incolores.

Esse ensaio permite mapear a profundidade da frente de carbonatação, ajudando na avaliação da necessidade de intervenção e na elaboração de projetos de reparo. Para maior confiabilidade, recomenda-se a realização de perfis de carbonatação em diferentes pontos da estrutura.

Medidas Preventivas:

- Aumento do cobrimento das armaduras, conforme a ABNT NBR 6118:2023;
- Utilização de concretos com baixa permeabilidade e adições minerais como sílica ativa;
- Aplicação de revestimentos protetores (tintas acrílicas ou epóxis);

- Manutenção regular das superfícies expostas à ação ambiental;
- Monitoramento periódico da profundidade da carbonatação em estruturas críticas (PEREIRA, 2013; IBAPE, 2021).

3.3.6. CORROSÃO DA ARMADURA

A corrosão das armaduras é considerada uma das principais causas de deterioração prematura de estruturas de concreto armado, estando diretamente relacionada à redução da vida útil da estrutura e ao aumento dos custos de manutenção. O fenômeno ocorre quando há perda da camada passivadora que protege o aço devido à redução do pH do concreto ou à penetração de agentes agressivos, como cloretos e dióxido de carbono (CO_2) (HELENE, 2011; NEVILLE, 2016).

O aço embutido no concreto encontra-se, em condições normais, protegido por uma fina camada de óxido passivo, formada devido ao alto pH do meio ($\text{pH} > 12,5$). Esse ambiente alcalino é proporcionado pela presença do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), resultante da hidratação do cimento Portland.

A corrosão se inicia quando essa proteção é comprometida, geralmente por dois mecanismos principais:

Carbonatação: causada pela penetração de CO_2 , que reduz o pH da matriz do concreto (ver item 3.3.5);

Ataque por cloretos: proveniente de ambientes marinhos, descongelantes ou materiais contaminados, que rompem a camada passiva mesmo com pH elevado (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O processo eletroquímico de corrosão gera produtos expansivos (óxidos e hidróxidos de ferro) que aumentam o volume da armadura em até 6 vezes, criando tensões internas no concreto e originando fissuras longitudinais, perda de aderência e eventual destacamento do cobrimento (PEREIRA, 2013).

São fatores que contribuem para a Corrosão:

- Baixo cobrimento das armaduras – A Figura 10 mostra um exemplo de elemento estrutural sem o cobrimento mínimo exigido;
- Alta permeabilidade do concreto (relação água/cimento elevada);
- Presença constante de umidade;
- Fissuras no concreto, que facilitam o ingresso de agentes agressivos;

- Falta de aditivos impermeabilizantes ou protetores superficiais.

A corrosão pode ser detectada visualmente em estágios avançados, por meio de:

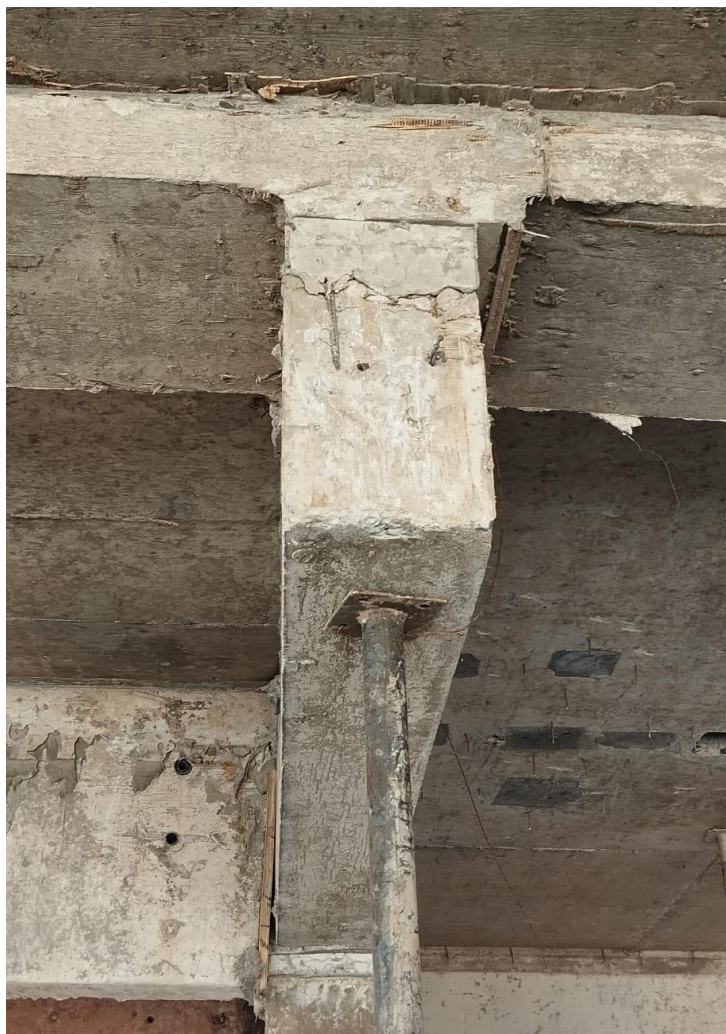
- Fissuras longitudinais paralelas à armadura;
- Mancha de ferrugem ou deslocamento do concreto;
- Exposição do aço corroído.

Em fases iniciais, podem ser utilizados métodos não destrutivos e semidestrutivos, como: Potencial de corrosão (meio-célula de cobre-sulfato), medidas de resistividade elétrica do concreto ou extração de testemunhos e análise química (íons cloreto e profundidade de carbonatação).

Para evitar o processo de corrosão ou retardar seu avanço, recomenda-se: Garantir cobrimento adequado, conforme ABNT NBR 6118:2023, variando de acordo com a classe de agressividade do ambiente, utilizar concretos com baixa relação água/cimento e adições minerais (como sílica ativa), empregar aditivos inibidores de corrosão ou armaduras galvanizadas, aplicar revestimentos protetores nas superfícies expostas (tintas acrílicas, impermeabilizantes, epóxis) ou realizar inspeções periódicas para detecção precoce de falhas.

A Figura 10 apresenta um exemplo de armadura sem o cobrimento mínimo que, se não for tratado, pode ocasionar o processo de corrosão.

Figura 10 - Foto de uma viga pré-moldada já posicionada sem o cobrimento mínimo de concreto, expondo a armadura do elemento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em casos já comprometidos, o tratamento envolve a remoção do concreto deteriorado, a limpeza da armadura com escovas ou jateamento abrasivo ou, em situações severas, considerar o uso de técnicas como proteção catódica (HELENE, 2011; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

3.4. MANUTENÇÃO PREVENTIVA E INSPEÇÕES PERIÓDICAS

A manutenção das edificações é um fator essencial para a durabilidade, segurança e desempenho das estruturas ao longo do tempo. A negligência com a manutenção é uma das principais causas de manifestações patológicas em estruturas

de concreto armado, muitas vezes resultando em custos elevados de recuperação e em riscos à segurança dos usuários (HELENE, 2011).

De acordo com a ABNT NBR 5674:2019 – Manutenção de Edificações, toda edificação deve dispor de um plano de manutenção predial, que contemple procedimentos periódicos de verificação, conservação, limpeza e reparo. A norma estabelece que as atividades de manutenção devem ser planejadas desde a concepção do projeto, devendo o proprietário e o responsável técnico garantir sua execução ao longo da vida útil da estrutura.

A manutenção pode ser classificada em:

Manutenção preventiva: realizada de forma planejada e sistemática, com o objetivo de evitar falhas e manter o desempenho da edificação. Inclui ações como inspeção de juntas, reaplicação de impermeabilizantes, verificação de drenagens e cobertura, além de avaliações visuais de fissuras e infiltrações.

Manutenção corretiva: realizada após a identificação de uma falha ou anomalia já manifestada. Costuma ser mais onerosa e complexa, pois envolve correções em elementos já comprometidos, como armaduras corroídas ou fissuras profundas.

Manutenção preditiva: baseada em monitoramento e análise de desempenho ao longo do tempo, utilizando sensores e instrumentos que permitem prever falhas antes que ocorram, como a medição da carbonatação ou da umidade relativa no concreto.

Além disso, a realização de inspeções periódicas por profissional qualificado é fundamental para identificar manifestações patológicas em estágio inicial. O IBAPE (2021) recomenda que inspeções visuais sejam realizadas anualmente, e inspeções técnicas completas a cada cinco anos, especialmente em edificações com mais de 15 anos de uso.

A adoção de rotinas de manutenção preventiva contribui diretamente para:

- Aumentar a vida útil das estruturas;
- Reduzir custos com reparos emergenciais;
- Evitar paralisações e interdições de uso;
- Preservar a estética, funcionalidade e segurança da edificação.

Conforme destaca Neville (2016), a durabilidade do concreto depende tanto da qualidade de sua execução quanto da conservação ao longo do tempo, sendo a manutenção um pilar essencial da engenharia de desempenho.

4. METODOLOGIA

4.1. TIPO DE PESQUISA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa e exploratória. A abordagem qualitativa é adequada por permitir a compreensão detalhada e interpretativa dos fenômenos patológicos em estruturas de concreto armado, levando em conta fatores técnicos, ambientais e construtivos. Já o caráter exploratório justifica-se pelo objetivo de aprofundar o conhecimento sobre causas, sintomas e medidas corretivas de manifestações patológicas, com base em fontes especializadas da área da engenharia civil (GIL, 2017).

4.2. REALIZAÇÃO DO ESTUDO CRITÉRIOS DE MOSTRAGEM UTILIZADOS

A pesquisa foi conduzida por meio do **método de revisão bibliográfica**, sendo utilizadas fontes secundárias como livros, artigos científicos, dissertações, normas técnicas da ABNT e publicações de instituições especializadas. A revisão teve por objetivo identificar, classificar e analisar criticamente os principais tipos de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, suas origens, mecanismos de desenvolvimento (patogenia), bem como as recomendações técnicas para prevenção e correção.

4.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os principais procedimentos metodológicos adotados neste trabalho foram:

Levantamento bibliográfico em acervos digitais e físicos de universidades, bibliotecas técnicas e bases de dados como Google Scholar, Scielo e periódicos de engenharia civil;

Seleção criteriosa de autores técnicos renomados, como Helene, Neville, Mehta e Monteiro, além de normas atualizadas da ABNT (como NBR 6118:2023 e NBR 14931:2023);

Classificação das manifestações patológicas de acordo com sua natureza (fissuras, trincas, eflorescência, corrosão, etc.);

Análise crítica e comparativa entre as abordagens dos diferentes autores quanto às causas, sintomas e intervenções;

Sistematização dos dados em seções organizadas que integram teoria, prática e regulamentações técnicas.

Este método permite compreender as patologias de forma técnica, sem aplicação de experimentos laboratoriais ou estudos de caso prático, sendo adequado à natureza teórica da monografia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA LITERATURA ABORDADA

A literatura utilizada neste trabalho contempla uma variedade de fontes acadêmicas e técnicas voltadas à análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. Foram priorizados autores de renome na área da construção civil e materiais atualizados, tais como Helene (2011), Neville (2016), Mehta e Monteiro (2014), bem como normas técnicas fundamentais como a NBR 6118:2023 e NBR 14931:2023, ambas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A seleção bibliográfica seguiu critérios de relevância, atualidade e autoridade na área técnica, sendo composta por livros didáticos, artigos científicos, revistas técnicas, manuais de engenharia e diretrizes normativas. Os principais temas abordados foram: origem das manifestações patológicas, características do concreto, processos de corrosão, fissuração, eflorescência, flambagem, bem como os procedimentos adequados de execução e controle.

Além da literatura técnica, a revisão das normas da ABNT permitiu alinhar as discussões com os procedimentos oficiais de projeto, execução e manutenção de estruturas de concreto, oferecendo uma abordagem normativa e prática dos temas discutidos.

5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS POR DIFERENTES TIPOS DE PATOLOGIA

A seguir são descritas as manifestações patológicas observadas durante a análise técnica de campo, com base em imagens documentadas pelo autor. Para cada caso, são apresentadas a origem do problema e a proposta de tratamento técnico, com apoio em normas técnicas da ABNT e autores especializados.

5.2.1. CORROSÃO DA ARMADURA

A corrosão das armaduras é uma das patologias mais críticas em estruturas de concreto armado, pois compromete diretamente a aderência entre o aço e o concreto,

reduzindo a capacidade resistente do elemento. A Figura 11 mostra a exposição da armadura em uma junta de concretagem, causada pelo acúmulo de impurezas durante a execução.

Figura 11 - Foto de armadura exposta numa junta de concretagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tratamento recomendado: Realizar a limpeza mecânica da armadura (com escova de aço ou jato abrasivo) e aplicar pasta cimentícia de proteção ou argamassa com inibidores de corrosão. Em casos mais severos, podem ser aplicadas técnicas de passivação eletroquímica ou proteção catódica, conforme recomenda Helene (2011) e ABNT NBR 6118:2023.

5.2.2. FISSURAS

A fissura identificada na Figura 12 de uma laje recém concretada decorre da secagem acelerada do concreto, caracterizando uma fissuração plástica. Esse tipo de fissura ocorre antes do início do ganho de resistência do concreto, especialmente em ambientes quentes, secos ou com ventilação excessiva.

Figura 12 - Foto de uma fissura em laje recém concretada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tratamento recomendado: Aplicar cura úmida contínua ou utilizar produtos de cura química (spray curing). Segundo Neville (2016), quando o traço do concreto está correto e não há comprometimento estrutural, a fissura superficial não exige reparo estrutural, apenas acompanhamento.

5.2.3. TRINCAS

A trinca localizada na parte superior de uma abertura de porta, mostrada na Figura 13, evidencia a ausência de verga na alvenaria. A função da verga é redistribuir as tensões originadas pelas cargas da estrutura sobre os vãos.

Figura 13 - Foto de uma trinca diagonal na parte superior de uma porta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tratamento recomendado: Demolição do trecho afetado, execução de verga em concreto armado de acordo com projeto estrutural e reconstrução da parede. Helene (2011) reforça que a ausência de vergas é uma das causas mais comuns de trincas em alvenaria de vedação.

5.2.4. RACHADURAS

A rachadura observada na Figura 14 entre o degrau e o patamar da escada pré-moldada indica a presença de esforços não previstos em projeto, provavelmente devido a falhas no apoio ou transporte inadequado da peça, sendo feito o devido descarte do elemento.

Figura 14 - Foto de uma rachadura numa escada pré-moldada.



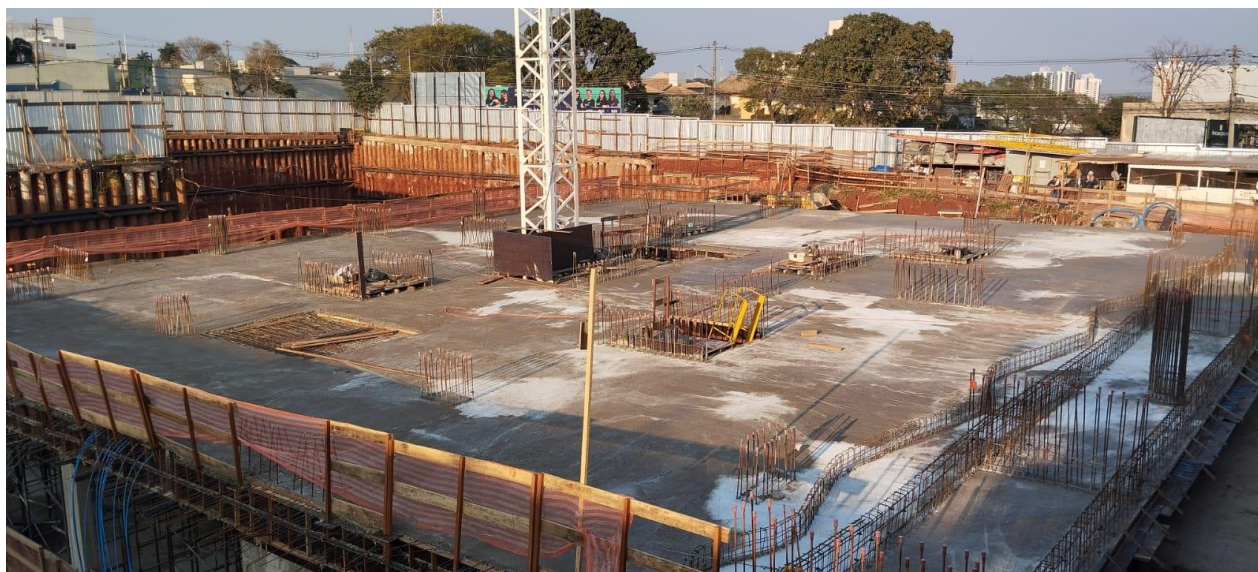
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tratamento recomendado: O descarte da peça foi apropriado. Em projetos futuros, recomenda-se a revisão dos detalhes de encaixe e apoio, bem como testes de carga quando necessário, conforme Fusco (2002).

5.2.5. EFLORESCÊNCIA

A eflorescência, apresentada na Figura 15, caracterizada por depósitos brancos na superfície da laje, ocorre pela migração de sais solúveis presentes no concreto para a superfície, em função da movimentação da umidade.

Figura 15 - Foto de uma Laje maciça com pontos de eflorescência.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tratamento recomendado: Escovação da área com escova de cerdas duras e aplicação de solução ácida diluída (como ácido cítrico). Deve-se também aplicar impermeabilização adequada na superfície exposta e controlar fontes de umidade no local (PEREIRA, 2013).

5.2.6. FLAMBAGEM

A flambagem é uma instabilidade estrutural que ocorre quando um elemento esbelto submetido à compressão axial apresenta deslocamento lateral súbito, podendo comprometer sua capacidade resistente e gerar colapso. Nos casos analisados das Figuras 16 e 17, observa-se o fenômeno em escoras metálicas utilizadas no escoramento de uma laje durante a fase de execução da obra. A deformação lateral visível indica que o esforço solicitante da laje ultrapassou a capacidade de resistência da escora, o que caracteriza um erro de dimensionamento ou distribuição dos elementos provisórios de sustentação.

Figura 16 - Foto de escoramentos de viga (elemento sem flambagem).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Foto de escoramentos exemplificando a flambagem em laje.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A flambagem em escoramentos é especialmente crítica porque ocorre antes do concreto adquirir sua resistência de projeto, colocando em risco não apenas o elemento estrutural, mas também os trabalhadores envolvidos na obra.

Causas mais comuns:

- Escoras com altura excessiva e sem travamento intermediário;
- Escoras reutilizadas com perda de resistência (amassadas ou enfraquecidas);
- Carga aplicada maior que a carga admissível do fabricante;
- Distribuição irregular do carregamento;
- Falta de contraventamento lateral entre escoras, especialmente em grandes vãos.

Tratamento e prevenção recomendada:

- Reforço imediato do escoramento, substituindo as escoras danificadas por elementos novos e certificados;
- Instalação de travamentos horizontais (contraventamentos metálicos ou de madeira) para evitar deslocamentos laterais;
- Distribuição regular das cargas, com acompanhamento de engenheiro responsável técnico;
- Verificação prévia da capacidade de carga das escoras, conforme ficha técnica do fabricante e conforme orienta a ABNT NBR 14931:2023;
- Em obras com grande altura de pé-direito, adotar escoras com seções maiores ou estruturas auxiliares tipo torre;
- Inspeção periódica das escoras durante toda a concretagem.

Segundo Bastos (2017), a flambagem pode ser evitada com o correto dimensionamento da esbeltez do elemento, levando em conta o comprimento livre de flambagem e as condições de apoio, além da adoção de seções mais robustas ou elementos de reforço.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho permitiu compreender de forma aprofundada as diversas manifestações patológicas que acometem as estruturas de concreto armado, analisando suas origens, mecanismos de desenvolvimento e métodos de prevenção e correção. Por meio de uma revisão bibliográfica fundamentada em normas técnicas e autores consagrados, associada à análise prática de casos reais, foi possível identificar os principais fatores que comprometem a durabilidade e a segurança das edificações.

Os estudos indicam que as patologias estruturais frequentemente estão relacionadas a falhas em etapas críticas do processo construtivo, como projeto, escolha dos materiais, execução e manutenção. Fissuras, trincas, corrosão das armaduras, eflorescência e carbonatação são manifestações recorrentes que, quando não diagnosticadas e tratadas precocemente, evoluem para situações de comprometimento estrutural significativo.

A pesquisa evidenciou a importância da adoção de boas práticas construtivas, como o correto dimensionamento das armaduras, a execução adequada de concretagens, o uso planejado de elementos pré-moldados e a aplicação de métodos eficazes de cura e proteção do concreto. Além disso, destacou-se o papel essencial da manutenção preventiva e das inspeções periódicas, conforme estabelecido pela ABNT NBR 5674:2019, como medidas para prolongar a vida útil das estruturas e reduzir custos com reparos corretivos.

Conclui-se, portanto, que a atuação preventiva, o controle tecnológico e o conhecimento técnico das patologias são ferramentas indispensáveis na rotina profissional do engenheiro civil. O conteúdo apresentado neste trabalho pode servir como base teórica e prática para estudantes, projetistas, executores e profissionais que atuam na área de reabilitação e diagnóstico de estruturas, contribuindo para construções mais duráveis, seguras e sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674:2019 – Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6181:2024 – Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2024.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931:2023 – Execução de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67:1998 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ABNT. NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT. NBR 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABNT. NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ABNT. NBR 11768:2019 – Cimento Portland com adições. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BASTOS, R. Estabilidade estrutural e flambagem. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

BERTI, J. V. M.; DA SILVA JÚNIOR, G. P.; AKASAKI, J. L. Estudo da origem, sintomas e incidências de manifestações patológicas do concreto. *Revista Científica ANAP Brasil*, v. 12, n. 26, 2019.

FUSCO, P. B. Estruturas de concreto – Fundamentos da engenharia de concreto armado. São Paulo: PINI, 2002.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GONÇALVES, E. A. B. Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

HELENE, P. Patologia das estruturas de concreto. São Paulo: PINI, 2011.

IBAPE – INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA. Manual de inspeção predial. São Paulo: IBAPE Nacional, 2021.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2016.

PEREIRA, E. Eflorescências em concreto. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RIOS, E. C. C. et al. Carbonation in armed concrete structures: Diagnosis of the carbonation process in reinforced concrete slabs present in the parking lot of a commercial building in the city of São Luís–MA. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 15846–15869, 2020.

SANTOS, D. P. Diagnóstico e prevenção de patologias em estruturas de concreto. São Paulo: FAPESP, 2014.

SPGO. Procedimento do slump test. [ilustração]. Disponível em: <https://www.spgo.com.br/blog/procedimento-slump-test>. Acesso em: 30 maio 2025.