

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BACABAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ELIELTON DA CONCEIÇÃO

AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO ARMADO: estudo
bibliográfico das principais causas, mecanismos e fatores contribuintes

Bacabal - MA

2026

ELIELTON DA CONCEIÇÃO

AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO ARMADO: estudo
bibliográfico das principais causas, mecanismos e fatores contribuintes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual do Maranhão – Campus
Bacabal, como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. André Lucas Magalhães do
Nascimento

Bacabal - MA

2026

Conceição, Elielton da.

As manifestações patológicas no concreto armado: estudo bibliográfico das principais causas, mecanismos e fatores contribuintes / Elielton da Conceição. - Bacabal - MA, 2026.

41 f.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil Bacharelado) - Universidade Estadual do Maranhão, Campus Bacabal, 2026.

Orientador: Prof. Esp. André Lucas Magalhães do Nascimento.

1. Manifestações patológicas. 2. Recuperação. 3. Concreto armado. I. Título.

CDU: 691.328

Elaborado por Anderson de Araújo Machado - CRB 13/746 MA

ELIELTON DA CONCEIÇÃO


AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO ARMADO: estudo bibliográfico das principais causas, mecanismos e fatores contribuintes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual do Maranhão – campus Bacabal, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. André Lucas Magalhães do Nascimento


Aprovado em: 23/01/2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 ANDRE LUCAS MAGALHAES DO NASCIMENTO
Data: 13/03/2026 16:04:36-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>


Prof. Esp. André Lucas Magalhães do Nascimento (Orientador)

Universidade Estadual do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 GILCYVANIA CASTRO CORVELO COSTA
Data: 13/03/2026 18:14:53-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Gilcyvania Castro Corvelo Costa

Universidade Estadual do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 CARLOS EDUARDO MACHADO DE OLIVEIRA
Data: 13/03/2026 18:42:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Me. Carlos Eduardo Machado de Oliveira

Universidade Estadual do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceder o exato desta conclusão do curso de Engenharia Civil.

Aos meus familiares, por me acompanharem tanto nos bons momentos quanto nos ruins, durante toda nossa vida pessoal e acadêmica.

Aos professores da Universidade Estadual do Maranhão pela contribuição significativa na minha formação acadêmica.

“A durabilidade das estruturas de concreto armado depende essencialmente da introdução dos conceitos de vida útil e de agressividade ambiental no projeto”.

Helene (1997)

RESUMO

Atualmente, o concreto é o material mais utilizado, sendo um dos principais materiais de uma construção, devido a sua resistência sob as mais diversas sobrecargas e agressões do meio ambiente, porém ele é passível de manifestações patológicas que podem prejudicar e comprometer sua capacidade de resistir aos esforços solicitantes, podendo ocorrer um colapso parcial ou até mesmo total da sua estrutura. Entre as manifestações patológicas mais frequentes destacam-se as fissuras, que afetam não apenas a estética da estrutura, mas também aceleram processos de degradação, como carbonatação, infiltrações e corrosão das armaduras, reduzindo significativamente a vida útil projetada do elemento, tem-se um vasto número de edificações brasileiras que apresentam manifestações patológicas. Estas podem ocorrer nas diversas etapas construtivas numa obra, e se faz necessário um estudo das causas anteriores mais recorrentes, de modo a evitar que os mesmos problemas venham a acontecer no futuro. O presente trabalho tem como objetivo estudar os fundamentos teóricos sobre a manifestação de problemas patológicos nas estruturas de concreto armado, envolvendo as fases de projeto, emprego de materiais e processos construtivos, visando a prevenção das falhas e adoção de técnicas corretas de reparo, a fim de se evitar problemas futuros, desperdícios, retrabalho e conseqüentemente custos extras no orçamento.

Palavras-chave: manifestações patológicas; recuperação; concreto armado.

ABSTRACT

Currently, the concrete is the most widely used material and one of the primary components in construction, thanks to its strength under a wide variety of loads and environmental aggressions. However, it is susceptible to pathological manifestations that can impair and compromise its ability to resist applied forces, potentially leading to partial or even total structural collapse. Among the most frequent pathological manifestations are cracks, which affect not only the aesthetics of the structure but also accelerate degradation processes such as carbonation, water infiltration, and reinforcement corrosion, significantly reducing the designed service life of the element. A large number of Brazilian buildings exhibit such pathological manifestations. These issues can occur at various stages of the construction process, making it essential to study the most recurrent prior causes in order to prevent the same problems from recurring in the future. The present work aims to study the theoretical foundations of pathological manifestations in reinforced concrete structures, covering the design phase, the use of materials, and construction processes, with the goal of preventing failures and adopting correct repair techniques. This is intended to avoid future problems, waste, rework, and consequently extra costs in the budget.

Keywords: Pathology, recovery, reinforced concrete, prevention.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Geral	12
2.2 Específicos	12
3 METODOLOGIA.....	12
4 REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1 Concreto armado	14
4.1.1 Conceituação.....	14
4.1.2 História do concreto.....	14
4.1.3 O uso do concreto armado no Brasil.....	15
4.2 Materiais que constituem o concreto	16
4.2.1 Cimento portland	16
4.2.2 Agregados para concreto	17
4.2.3 Adições	18
4.2.4 Água.....	19
4.3 Vida útil e durabilidade.....	19
4.4 Manifestações patológicas	22
4.4.1 Origens das manifestações patológicas	22
4.4.2 Concepção.....	23
4.4.3 Execução.....	23
4.4.4 Utilização	24
4.5 Causas das patologias	25

4.5.1 Deficiências nas armaduras	25
4.5.2 Fôrmas e escoramentos.....	26
4.5.3 Interpretação do projeto.....	26
4.5.4 Causas intrínsecas.....	27
4.5.5 Causas extrínsecas	27
4.5.6 Causas químicas.....	27
4.5.7 Causas físicas.....	28
4.6 Tipos de manifestações patológicas.....	29
4.6.1 Fissuras	29
4.6.2 Corrosão.....	31
4.6.3 Concreto segregado ou mal vibrado	32
4.6.4 Desgaste superficial do concreto	33
4.7 Alternativas de intervenção	34
4.7.1 Recuperação X reforço estrutural.....	34
4.7.2 Estratégias para utilização e manutenção das estruturas de concreto.....	35
4.7.3 Conceito de manutenção estrutural.....	35
4.7.4 Inspeção periódica	36
4.7.5 Inspeção detalhada.....	36
4.7.6 Serviços de limpeza	36
4.7.7 Processos de proteção superficial do concreto	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
5.1 Sugestões para trabalho futuro	38
5.1.1 Concreto mais sustentável	38
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Uma estrutura de concreto armado é projetada e construída para que seja durável, segura, funcional e tenha uma estética agradável ao usuário final durante a sua vida útil prevista. Porém o surgimento de manifestações patológicas tornou-se um problema comum nas construções que utilizam o concreto, comprometendo a vida útil da estrutura.

O concreto é um material amplamente empregado na construção civil em todo o mundo. Seu surgimento ocorreu por volta do século XIX, quando o inglês Joseph Aspdin patenteou o cimento Portland. Esse aglomerante, principal constituinte do concreto, é produzido a partir da queima de calcário e argila a altas temperaturas, resultando em um material mais consistente e forte. Com a descoberta do cimento, constatou-se que era possível empregar o concreto em estruturas de vários tipos e com maior nível de segurança.

Apesar de inúmeras vantagens, o concreto é um material tipicamente frágil, apresentando comportamento não-linear quando submetido a baixas tensões de tração. Sua baixa resistência a esse tipo de solicitação limita o uso do concreto simples em estruturas que necessitam vencer grandes vãos.

Sendo assim, surgiu a necessidade de associar ao concreto um outro material que apresentasse boa resistência à tração e que, trabalhando conjuntamente, fosse capaz de suportar os esforços de tração e compressão. Nesse contexto, o aço mostrou-se um material viável a ser acrescentado na região tracionada, surgindo o concreto armado. Esse material composto é definido pelo trabalho conjunto entre concreto e aço, cuja eficiência é garantida graças a aderência entre ambos.

A correlação das propriedades do concreto à compressão e do aço à tração, tornou a combinação ideal para as aplicações estruturais em concreto armado. Além disso, essa união é favorecida, principalmente, pelo fato de ambos os materiais apresentarem coeficientes de dilatação térmica muito semelhantes. Isso permite que se expandam e contraiam em taxas quase iguais com a mudança de temperatura, evitando tensões internas e fissuras nas estruturas.

Assim, o concreto armado se apresenta como um material de boa resistência a diversos esforços solicitantes, permitindo construir estruturas mais robustas como edifícios, pontes e viadutos, com boa relação custo-benefício e adaptabilidade a diversos projetos arquitetônicos. Essa resistência é fundamental para o bom desempenho das estruturas, proporcionando segurança, estabilidade e durabilidade às obras.

Embora as estruturas de concreto tenham se apresentado como o principal método construtivo dos últimos anos, elas não estão imunes a intercorrências ao longo de sua vida útil. Um dos principais gargalos do setor é o aparecimento de manifestações patológicas no concreto armado, que são ocorrências que agem negativamente nas construções e podem interferir na durabilidade da estrutura. Essas manifestações podem ser de vários tipos, como: fissuras, corrosão das armaduras, deslocamento, surgindo por falhas de projeto, execução e utilização. É necessário fazer inspeções periódicas nas estruturas de concreto armado para combater as possíveis manifestações patológicas que estão agindo e que podem diminuir a vida útil das edificações.

Todos os elementos que constituem a estrutura são de fundamental importância para o seu equilíbrio, qualquer manifestação patológica em algum deles, pode levar a diminuição da durabilidade, conforto e pôr fim ao equilíbrio estrutural, podendo gerar um estado limite último da estrutura, ou seja, um colapso (Marsico et al, 2017).

Com essa preocupação, inúmeros estudos vêm sendo desenvolvidos no Brasil e no mundo, buscando identificar as principais causas das manifestações mais comuns e propor estratégias de intervenção estrutural, por exemplo: conceitos essenciais sobre Patologias em Estruturas de Concreto, elaborado pelo Departamento de Infraestrutura e Transporte – DNIT. Dentre as intervenções, podem ocorrer trabalhos de correção e recuperação estrutural ou até mesmo de reforço de estruturas, onde o elemento danificado tem sua capacidade de carga aumentada.

A investigação das manifestações patológicas tende a focar desde o projeto até a utilização das estruturas, seguindo as normas vigentes, em especial a ABNT NBR 6118 (2024), que trata de projeto de estrutura de concreto, estabelecendo requisitos de segurança, durabilidade e desempenho das obras. Essa norma recomenda fortemente a utilização de bons materiais, de uma mão de obra qualificada e de controle rigoroso durante toda a execução.

Com base no exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise crítica do estado da arte acerca das principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. Para isso, foram avaliadas diversas fontes bibliográficas, como artigos publicados em revistas nacionais, trabalhos de conclusão de curso de universidades renomadas e produtos de pesquisas mais robustas, como dissertações e teses publicadas em repositórios.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Identificar os principais motivos pelos quais surgem as manifestações patológicas no concreto armado, caracterizando aquelas mais frequentes e identificando as principais técnicas de reparo e os materiais empregados que possam contribuir para solucionar e evitar problemas gerados por essas manifestações.

2.2 Específicos

- Identificar e caracterizar as principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, incluindo causas, origens, diagnósticos e reparos;
- Descrever o emprego de materiais e processos construtivos, visando à prevenção das falhas e adoção de técnicas corretas de reparo, a fim de se evitar problemas futuros.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho adota a abordagem de revisão bibliográfica como procedimento metodológico principal, com o objetivo de mapear, analisar e sintetizar o conhecimento científico existente acerca das manifestações patológicas em estruturas da construção civil, com ênfase no contexto brasileiro.

A análise adotou caráter predominantemente qualitativo e narrativo, os dados foram organizados tematicamente, agrupando as manifestações patológicas por categorias, abordando: os materiais que compõem o concreto armado, a durabilidade, a vida útil, os tipos de manifestações patológicas, entre outros.

A revisão está limitada às fontes disponíveis digitalmente e acessíveis por meio da internet. Foram selecionados os trabalhos que têm pertinência com o tema, por exemplo: artigos científicos, teses, dissertações e livros técnicos que abordem diretamente manifestações patológicas em estruturas da construção civil e as normas técnicas.

Seleção criteriosa de autores técnicos renomados, como Helene, Amorim e Miotto, além de normas atualizadas da ABNT (como NBR 6118:2024 e NBR 16697:2018). Análise crítica entre as abordagens dos diferentes autores quanto às causas, sintomas e intervenções. Por meio

desse método é possível estudar as patologias de forma técnica, sem recorrer a experimentação laboratorial nem a estudos de caso práticos, sendo ele compatível com a natureza predominantemente teórica desse trabalho de conclusão de curso.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O concreto simples é um material constituído de aglomerante e água, que constituem uma matriz cimentícia, e agregados graúdo e miúdo. Seu comportamento físico e mecânico pode ser melhorado a partir do emprego de aditivos. Os aditivos são substâncias químicas adicionadas ao concreto, com o intuito de modificar suas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. No Brasil os aditivos são regulamentados pela ABNT NBR 11768 (2019) Aditivos Químicos para Concreto, esses elementos propiciam uma série de benefícios ao concreto, tais como: efeitos plastificantes, acelera ou retarda a pega, impermeabilizante, hidrofugante, entre outras. A depender da situação é necessário a utilização de aditivos que irão adicionar qualidades essenciais como resistência e durabilidade da estrutura (Clímaco, 2016).

O concreto armado é um material que une o bom desempenho do concreto à compressão e a boa resistência do aço à tração, permitindo a construção de estruturas duráveis, seguras e que moldam a arquitetura das cidades modernas. As estruturas de concreto armado possuem vários elementos, os principais são: pilares, vigas e lajes. Os pilares são elementos lineares posicionados verticalmente que suportam grandes cargas de compressão, e apresentam armadura longitudinal. As vigas, também elementos lineares, são posicionadas horizontalmente, transferindo cargas das lajes para os pilares, sendo solicitadas principalmente à flexão e ao cisalhamento. Enquanto as lajes são caracterizadas como elementos de superfície de plano médio não curvo, tendo como função absorver as cargas de utilização e distribuí-las para as vigas ou pilares.

Embora o concreto armado seja amplamente empregado, apresentando inúmeras vantagens em relação a outros materiais, como o aço, elementos estruturais desse material podem apresentar deficiências ao longo de sua vida útil. Isso porque eles não estão imunes às manifestações patológicas. Na construção civil manifestações patológicas podem ser definidas como um resultado de degradação, ou seja, são os sintomas manifestados na construção que podem ser visuais ou estruturais. Essas manifestações podem interferir na vida útil e na durabilidade da estrutura, faz-se necessário investigar e entender de maneira específica as causas distintas que ocasionaram as anomalias (Antoniazzi, 2008).

Neste sentido, o tratamento das manifestações patológicas no concreto armado exige um diagnóstico preciso para identificar se o problema é superficial ou estrutural, se as patologias forem identificadas precocemente poderão ser tratadas mais facilmente. Entretanto, quando a intervenção for tardia podem promover a alteração do caráter estrutural e trazer riscos construtivos. Vale ressaltar que a identificação das manifestações patológicas é necessária, pois através dessa identificação que será possível realizar laudo técnicos referente a sua recuperação (Souza; Ripper, 2009).

4.1 Concreto armado

4.1.1 Conceituação

O concreto armado é um material composto formado pela combinação do concreto com armaduras de aço. Essa associação permite que o material suporte esforços combinados, como flexão, tração, compressão e cisalhamento, explorando as melhores propriedades de cada componente. O concreto protege o aço contra corrosão e fogo, enquanto o aço absorve as tensões de tração, nas quais o concreto é fraco.

4.1.2 História do concreto

Antigamente, o concreto era erroneamente encarado como um material livre de manifestações patológicas ou não sofria deteriorações significativas. Este pensamento surgiu a partir de observações de suas características, de durabilidade e resistência, devido aos exageros cometidos durante os procedimentos antigos para dimensionamento, levando a obtenção de peças estruturais bem robustas e superdimensionadas, resultado de cálculos obsoletos e margens altíssimas de segurança (Amorim, 2010). Logo, faz-se necessário desmistificar as estruturas de concreto como eternas.

O concreto armado moderno ocorreu no século XIX, na França, e é atribuída principalmente a dois pioneiros:

- Joseph-Louis Lambot (1814–1887): Considerado por muitas fontes como o criador da primeira estrutura de concreto armado conhecida. Em 1849, ele construiu um barco reforçado com malha de ferro e argamassa de cimento, testado em um lago em sua propriedade agrícola no sul da França.

- Joseph Monier (1823–1906): A partir de 1861, ele reforçou vasos e tubos de jardim com malha de ferro para maior resistência. Em 1867, exibiu seus vasos e tanques na Exposição de Paris e obteve a primeira patente para "vasos de cimento armado com ferro"

O engenheiro François Hennebique (1842–1921) viu as invenções de Monier na Exposição de 1867 e desenvolveu um sistema completo de concreto armado para edifícios, patentado em 1892. Ele é considerado o "pai" das estruturas modernas de concreto armado em grande escala, com vigas, lajes e colunas integradas.

4.1.3 O uso do concreto armado no Brasil

Segundo Amorim (2010), essa tecnologia de construção é empregada desde o século XVIII, mas teve seu auge a partir da década de 50 com o desenvolvimento industrial brasileiro. Estruturas mais robustas e duráveis se fizeram necessárias para atender a uma grande demanda provocada pelo crescimento populacional e do comércio, além do fato da mão-de obra, disponível em abundância na época, contemplar satisfatoriamente esse sistema construtivo (concreto e barras de aço) que, trabalhando juntos, conseguem dar estabilidade às estruturas. Emílio Baumgart foi quem melhor dominou essa ciência no Brasil. Professor e calculista de notável capacidade, muito além do conhecimento acadêmico da época, desenvolveu uma série de projetos notáveis (Amorim, 2010).

O edifício A Noite, no Rio de Janeiro, construído pelos arquitetos Joseph Gire e Elisário Bahiana, era considerado na época (1929) o edifício mais alto do mundo, marcaram história na engenharia civil nacional e mundial. O material se adaptou bem às condições brasileiras: econômico, utiliza materiais locais e dispensava mão de obra altamente especializada em comparação ao aço importado. Seu legado inclui durabilidade, versatilidade e contribuição para a arquitetura moderna nacional.

Apesar de todo o crescimento das construções, o conhecimento sobre o concreto estava limitado apenas ao comportamento mecânico das estruturas, projetos e execuções visavam, em sua grande maioria, atender os requisitos de estabilidade da estrutura sem prever outros problemas que poderiam aparecer com o seu envelhecimento. Hoje se sabe que uma estrutura de concreto armado deve atender não apenas questões referentes a sua estabilidade, mas

também devem ser funcionais, ou seja, devem estar aptas a cumprir o papel pela qual foi projetada, e deve ser esteticamente confortável (Miotto, 2010).

4.2 Materiais que constituem o concreto

4.2.1 Cimento portland

O cimento é essencial para o concreto porque atua como o ligante (cola) que une todos os outros componentes, transformando a mistura em um material sólido, resistente e durável. Sem o cimento, os agregados (areia e brita) seriam apenas uma pilha solta de materiais inertes, não haveria coesão nem resistência estrutural. O cimento reage quimicamente com a água em um processo chamado hidratação, formando uma pasta que endurece e envolve os agregados, criando uma pedra artificial.

Os tipos de cimento Portland comercializados no Brasil seguem a norma ABNT NBR 16697 (2018) Cimento Portland – Requisitos, que unificou as especificações anteriores em um único documento. O quadro 1 especifica os principais tipos de cimento utilizado no Brasil, com suas características e aplicações recomendadas.

Quadro 1 - Classes de cimento

Sigla	Adições principais	Características principais	Aplicações comuns	Classes de resistência aos 28 dias (MPa)
CP I	Até 5% de adições (escória, pozolana ou filler)	Básico, sem propriedades especiais	Obras gerais sem exigências específicas	25, 32, 40
CP I-S	6-10% de material carbonático	Similar ao CP I, mas com leve melhoria em impermeabilidade	Obras gerais	25, 32, 40
CP II-E	6-34% de escória de alto-forno	Baixo calor de hidratação, maior durabilidade em ambientes agressivos	Obras em ambientes sulfatados, marítimos ou com grande volume	25, 32, 40

CP II-Z	6-14% de material pozolânico	Maior impermeabilidade e resistência química	Obras expostas à água ou agressividade química moderada	25, 32, 40
CP II-F	6-10% (ou mais, até limites da norma) de filler carbonático	Bom acabamento, uso geral	Argamassas, revestimentos e concretos comuns	25, 32, 40
CP III	35-75% de escória de alto-forno	Alto teor de escória, baixa permeabilidade, baixo calor de hidratação, alta durabilidade	Obras de grande porte (barragens), ambientes agressivos (esgotos, mar)	25, 32, 40
CP IV	15-50% de material pozolânico	Baixo calor de hidratação, alta resistência a longo prazo	Grandes volumes de concreto, ambientes agressivos	25, 32, 40
CP V	Sem adições significativas (até 5%)	Alta resistência precoce (≥ 14 MPa em 1 dia)	Artefatos pré-moldados, desforma rápida, pisos industriais	Não tem classes definidas (foco em resistência inicial)

Fonte: ABNT NBR 16697 (2018)

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2024), outro ponto importante em relação a estruturas de concreto armado é o cobrimento, a depende da agressividade ambiental onde nossa estrutura estiver inserida devemos utilizar um tipo de cimento específico. A agressividade ambiental refere-se à capacidade do ambiente externo de deteriorar o concreto e, principalmente, as armaduras de aço devido a ações físicas e químicas agressivas. Esses processos aceleram patologias como corrosão das armaduras, fissuras, deslocamentos e perda de capacidade estrutural.

4.2.2 Agregados para concreto

Os agregados são materiais granulares inertes (naturais ou artificiais) que compõem o concreto, conferindo resistência, volume, economia e durabilidade. No Brasil, os requisitos principais para agregados destinados a concreto de cimento Portland são definidos pela ABNT

NBR 7211 (2022) Agregados para concreto, que se aplica principalmente a agregados de origem natural ou resultantes de britagem de rochas estáveis.

Ainda segundo a ABNT NBR 7211 (2022), os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos e não devem conter substância da natureza em quantidade que possam afetar: a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade e o aspecto visual externo do concreto.

4.2.3 Adições

As adições, ou adições minerais, no concreto armado são materiais finamente moídos, geralmente em pó, que são incorporados à mistura do concreto, substituindo parcialmente o cimento. Elas são diferentes dos aditivos, que são químicos, normalmente líquidos, usados em pequena quantidade $\leq 5\%$, e modificam principalmente o concreto fresco. O quadro 2 apresenta adições que poderão melhorar a resistência do concreto, esses aditivos podem trazer alguns benefícios, por exemplo: acelerar a pega, acelerar a resistência, compensador de retração, entre outros (NBR 11768, 2019).

Quadro 2 - Principais tipos de adições minerais

Tipo	Origem	Características Principais	Benefícios no Concreto	Dosagem Típica (% massa de cimento)	Exemplos de Uso
Escória de alto-forno granulada	Subproduto siderúrgico	Atividade hidráulica latente (cimentante)	Baixo calor de hidratação, alta durabilidade, resistência a sulfatos e cloretos	30-70%	Concretos em ambientes agressivos (marítimos, esgotos), obras maciças (barragens)
Cinza volante (fly ash)	Subproduto de termelétricas a carvão	Pozolânica (baixa ou alta em CaO)	Melhora trabalhabilidade, reduz permeabilidade, ganho de	15-40%	Concretos de alto desempenho, pavimentos

			resistência a longo prazo		
Sílica ativa	Subproduto de produção de silício	Altamente pozolânica, partículas ultrafinas	Alta resistência mecânica, impermeabilidade e extrema, resistência química	5-15%	Concretos de ultra alto desempenho, estruturas expostas a abrasão
Metacaulim	Argila caulinita calcinada	Superpozolânica	Aumento rápido de resistência, redução de porosidade	5-20%	Concretos de alta resistência inicial, reparos
Filler calcário	Moagem de calcário	Inerte ou levemente reativo	Melhora acabamento, trabalhabilidade, reduz custo	5-30%	Concretos gerais, argamassas
Cinza de casca de arroz	Queima controlada de casca de arroz	Pozolânica rica em sílica amorfa	Alta pozolanicidade, durabilidade em ambientes agressivos	10-20%	Concretos sustentáveis, regiões agrícolas

Fonte: ABNT NBR 11768 (2019)

4.2.4 Água

A água é o componente que inicia a reação de hidratação do cimento e confere trabalhabilidade ao concreto fresco. No caso do concreto armado, a qualidade da água é ainda mais crítica, pois impurezas podem causar corrosão das armaduras. No Brasil, os requisitos para a água de amassamento do concreto armado são definidos principalmente pela ABNT NBR 15900 (2009) Água para amassamento do concreto. A escolha correta da água é fundamental para a durabilidade das estruturas de concreto armado, evitando manifestações patológicas.

4.3 Vida útil e durabilidade

A durabilidade e a vida útil das estruturas de concreto armado constituem requisitos essenciais do projeto estrutural contemporâneo, especialmente no contexto brasileiro, onde as

condições climáticas tropicais úmidas e a exposição a agentes agressivos aceleram processos de deterioração.

A ABNT NBR 6118 (2024) traz o conceito de vida útil de projeto como o período de tempo de estabilidade das características das estruturas de concreto, contanto que sejam atendidos os requisitos de uso e manutenção preconizados pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários em virtude de danos causados por eventuais acidentes.

De acordo com a ABNT NBR 15575 (2021) Edificações habitacionais - Desempenho, a durabilidade do edifício e de seus sistemas é uma exigência econômica do usuário, pois está diretamente associada ao custo global do bem imóvel. A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional. O período compreendido entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário pré-estabelecidas é denominado vida útil.

No contexto de projeto e execução de uma obra, a garantia da vida útil e da durabilidade das estruturas não depende apenas de uma concepção e análise adequada, mas também do atendimento às prescrições normativas associadas ao projeto, à execução e ao controle tecnológico. Para a utilização do concreto armado no Brasil há duas normas técnicas principais. A ABNT NBR 6118 (2024), que é a norma que contém todas as informações necessárias para tomada de decisões na fase de projeto, e a ABNT NBR 14931 (2023) – Execução de estruturas de concreto, que traz as regras que devem ser respeitadas na fase de execução. O quadro 3 faz uma relação entre a classe de agressividade do ambiente e o risco de deterioração da estrutura, já o quadro 4 nos diz que quanto maior for o grau de deterioração menor deve ser a relação água cimento do concreto. Ambos os requisitos estão presentes na norma de projeto de estruturas de concreto.

Quadro 3 - Classes de agressividade ambiental – CAA

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submerso	Insignificante
II	Moderada	Urbano a, b	Pequeno

III	Forte	Marinho a Industrial a, b	Grande
IV	Muito forte	Industrial a, b, c Respingos de maré	Elevado
<p>a) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes internos com concreto revestido com argamassa e pintura (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos).</p> <p>b) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa média do ar menor ou igual a 65%, ou partes da estrutura protegidas em ambientes onde raramente chove.</p> <p>c) Ambientes quimicamente agressivos: indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, galvanoplastia, branqueamento em indústrias contaminadas, ou água subterrânea contaminada.</p>			

Fonte: ABNT NBR 6118 (2024)

Ainda de acordo com a NBR 6118 (2024), a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do cobrimento da armadura. Na falta de ensaios comprobatórios de desempenho de qualidade frente as classes de agressividade ambiental, deve ser seguida os requisitos mínimos em relação: água/cimento e classe do concreto para enfrentar as condições adversas do meio ambiente.

Quadro 4 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

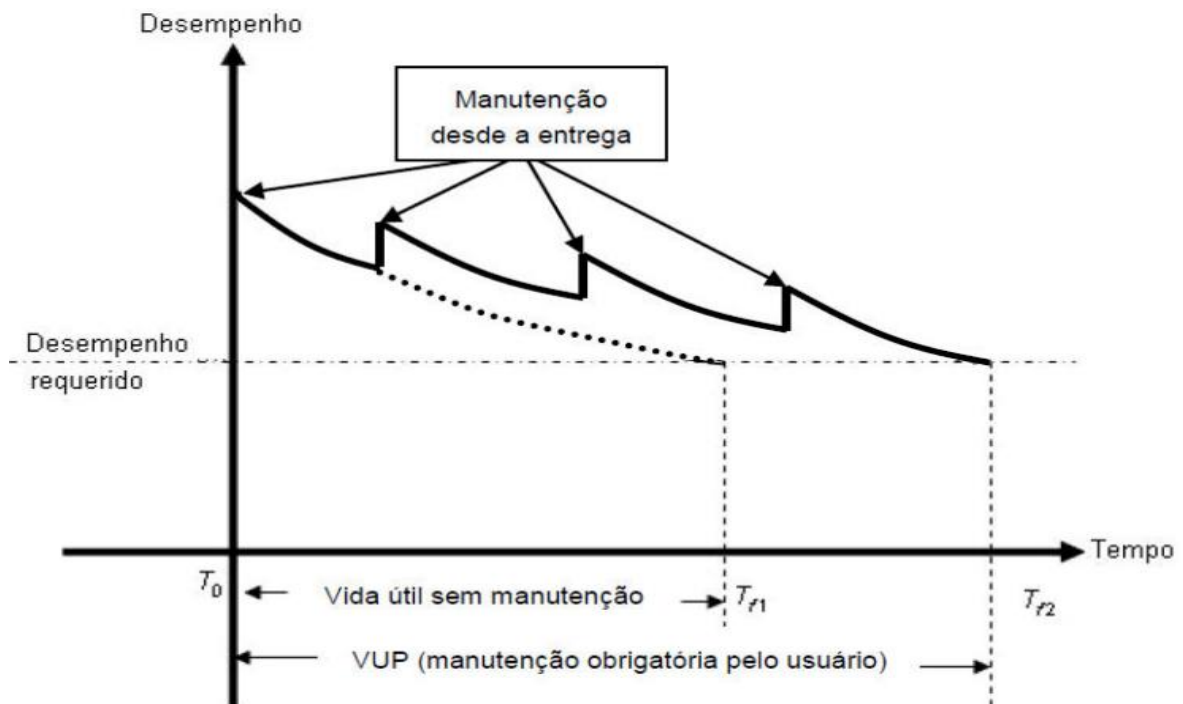
a: O concreto deve cumprir os requisitos da ABNT NBR 12655.
b: CA = concreto armado.
c: CP = concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2024)

Com base nos conceitos de durabilidade e vida útil, as estruturas devem ser projetadas e construídas de modo que, quando utilizadas, conforme as condições previstas no projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço. O conhecimento da durabilidade

e dos métodos de previsão da vida útil das estruturas são primordiais para auxiliar na previsão do comportamento do concreto em longo prazo e prevenir manifestações patológicas precoces, além de contribuir para a economia, sustentabilidade e durabilidade de estruturas. O gráfico 1 mostra que fazendo manutenção periódica irá aumentar o desempenho e a vida útil da construção (Lapa, 2008).

Gráfico 1 - Vida útil x Desempenho



Fonte: ABNT NBR 15575 (2021)

4.4 Manifestações patológicas

4.4.1 Origens das manifestações patológicas

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado referem-se a todas as anomalias, danos ou deteriorações que comprometem a durabilidade, estabilidade, segurança e estética da construção ao longo do tempo. Elas surgem principalmente devido à interação entre o concreto, as armaduras de aço e os agentes agressivos do ambiente, conforme discutido na agressividade ambiental da ABNT NBR 6118 (2024), falhas de concepção, execução inadequada, utilização, falta de manutenção ou sobrecargas não previstas.

4.4.2 Concepção

As manifestações patológicas na concepção referem-se aos problemas ou defeitos em edificações que têm origem na fase inicial do processo construtivo, ou seja, na concepção e projeto (etapa de planejamento e elaboração dos projetos arquitetônico, estrutural etc.). Na engenharia civil, as manifestações patológicas são os "sintomas" visíveis de falhas nas construções (como fissuras, corrosão, concreto segregado etc.). Elas surgem por erros em qualquer etapa, mas uma grande parte origina-se justamente na fase de concepção/projeto.

Principais exemplos de manifestações patológicas originadas na concepção: erros de dimensionamento estrutural (levam a fissuras, trincas, rachaduras ou recalques diferenciais, deformações excessivas na estrutura); mal detalhamento de projetos (falhas em juntas de dilatação, cobrimento insuficiente das armaduras facilitando corrosão ou falta de previsão de movimentações térmicas/higroscópicas; incompatibilidade entre projetos complementares (problemas de impermeabilização inadequada, causando infiltrações, manchas de umidade, mofo, bolor ou eflorescências; escolha inadequada de materiais ou sistemas construtivos (sem considerar o ambiente agressividade, umidade, cargas, resultando em carbonatação acelerada, corrosão de armaduras ou descolamento de revestimentos; ausência de planejamento de drenagem ou impermeabilização (umidade ascendente nas paredes, comum por falta de tratamento na viga baldrame).

4.4.3 Execução

A fase de execução representa uma das etapas mais críticas do processo construtivo, sendo responsável por uma parcela significativa das manifestações patológicas em edificações. De acordo com estudos clássicos das manifestações patológicas das construções, os erros cometidos durante a obra podem responder por 30% a 40% das anomalias observadas, muitas vezes agravando falhas preexistentes da concepção ou gerando novas degradações que comprometem a durabilidade, a segurança e o desempenho da edificação (Souza; Ripper, 2009).

Diferentemente das patologias oriundas do projeto, que decorrem de inadequações conceituais, as manifestações na execução resultam principalmente de falhas operacionais, como mão de obra não qualificada, controle insuficiente de materiais, supervisão deficiente ou descumprimento das especificações técnicas e normas vigentes (ex.: NBR 6118 (2024) para estruturas de concreto e NBR 15575 (2021) para desempenho).

As principais causas de manifestações patológicas na fase de execução da obra estão, em grande parte, associadas a falhas operacionais e ao descumprimento de boas práticas construtivas. A utilização de mão de obra não qualificada pode resultar em erros na aplicação de técnicas construtivas e no manuseio equivocado de materiais. Além disso, o uso de materiais de baixa qualidade ou de procedência duvidosa pode levar a problemas futuros, comprometendo o desempenho e a durabilidade da estrutura.

A durabilidade também pode ser comprometida por uma impermeabilização deficiente em fundações, paredes e áreas molhadas, proporcionando problemas de umidade e corrosão. Além disso, a corrosão também pode ser agravada pela falta de cobrimento das armaduras, isto é, ausência de uma camada adequada de concreto sobre as armaduras, expondo o aço à umidade e oxigênio.

Problemas também decorrem de falhas no controle tecnológico, como um preparo incorreto de misturas, baseado em proporções erradas de cimento, areia e água no concreto, podendo levar à baixa resistência, fissuras e esfarelamento. De modo semelhante, cura inadequada do concreto, ou seja, a falha em manter o concreto úmido durante o período de cura pode resultar em fissuras de retração e redução da resistência.

Por fim, o desrespeito às normas técnicas e projetos, que podemos incluir: modificações não autorizadas ou a não conformidade com as especificações do projeto podem comprometer a integridade e o desempenho da estrutura.

4.4.4 Utilização

A prevenção nessa fase baseia-se na adoção de um plano de manutenção predial sistemático conforme ABNT NBR 5674 (2024) - Manutenção de edificações, com inspeções regulares, registros de intervenções e conscientização dos usuários. O cumprimento do Manual de Manutenção da ABNT NBR 15575 (2021) é fundamental para mitigar riscos e prolongar a durabilidade da edificação. A fase de utilização e manutenção representa o período mais extenso do ciclo de vida de uma edificação e, paradoxalmente, uma das principais fontes de manifestações patológicas.

De acordo com autores como Helene (1992) e Sabbatini (1988), os problemas decorrentes da falta de manutenção ou do uso inadequado podem responder por até 30% das anomalias observadas, muitas vezes acelerando degradações latentes das fases anteriores de

concepção e execução. Essas manifestações patológicas manifestam-se principalmente devido à omissão de inspeções periódicas, à não execução de reparos preventivos, ao sobrecarregamento indevido da estrutura ou à exposição prolongada a agentes agressivos sem intervenção.

A ABNT NBR 15575 (2021) reforça a importância dessa etapa ao exigir que o projeto inclua um Manual de Uso, Operação e Manutenção, com orientações claras para os usuários e síndicos, visando preservar o desempenho ao longo da Vida Útil de Projeto. Dentre as principais manifestações patológicas associadas à fase de utilização, destacam-se: infiltrações e manchas de umidade, corrosão avançada de armaduras, fissuras e descolamento de revestimentos, degradação de impermeabilizações etc.

4.5 Causas das patologias

A ocorrência das patologias está relacionada a, principalmente, três causas: deficiência nas armaduras, fôrmas e escoramentos, ou ainda, pela interpretação do projeto.

4.5.1 Deficiências nas armaduras

As armaduras de aço representam o elemento responsável pela resistência à tração no concreto armado, mas sua principal vulnerabilidade reside na suscetibilidade à corrosão quando não adequadamente protegidas. A deficiência mais crítica relacionada às armaduras é o cobrimento nominal insuficiente, definido como a distância mínima entre a superfície externa da armadura e a face exposta do concreto. Essa falha, predominantemente originada na fase de execução (posicionamento incorreto de espaçadores, vibração excessiva ou desforma inadequada), viola as especificações do projeto e os requisitos da ABNT NBR 6118 (2024), acelerando processos de degradação que comprometem a durabilidade e a integridade estrutural (Helene, 1992).

Uma das deficiências mais recorrentes nas estruturas de concreto armado refere-se ao não atendimento às especificações do projeto quanto às armaduras, especialmente no que tange ao cobrimento nominal, ao posicionamento, ao diâmetro, ao tipo de aço ou à quantidade de barras. Essa discrepância, geralmente originada na fase de execução, compromete diretamente a durabilidade e a segurança estrutural, sendo responsável por uma parcela significativa das manifestações patológicas relacionadas à corrosão.

4.5.2 Fôrmas e escoramentos

O sistema de fôrmas e escoramento constitui um elemento auxiliar essencial na execução de estruturas de concreto armado, responsável por conter e sustentar o concreto fresco até que atinja resistência suficiente para tornar-se autoportante. Falhas nesse sistema, regulado pela ABNT NBR 15696 (2009) Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, execução e desempenho, representam uma das principais causas de manifestações patológicas na fase de execução, podendo levar a defeitos estéticos, estruturais ou até colapsos catastróficos.

As patologias mais comuns originam-se de projeto inadequado, montagem deficiente, materiais de baixa qualidade ou desforma precoce. Dentre elas, destacam-se: ninhos de concretagem e segregação, deformações excessivas e flechas permanentes, Fissuras e trincas por desforma precoce, colapso parcial ou total. A prevenção exige projeto detalhado do sistema de fôrmas (com cálculos de cargas e deformações), uso de materiais certificados, montagem com prumo e travamentos adequados, além de monitoramento da resistência do concreto por ensaios cilindros antes da desforma.

4.5.3 Interpretação do projeto

Esses erros geralmente ocorrem por falta de capacitação da mão de obra, ausência de supervisão técnica qualificada ou comunicação deficiente entre projetistas e executores. A ABNT NBR 6118 (2024) e a ABNT NBR 15575 (2021) enfatizam a necessidade de clareza nos detalhamentos para minimizar ambiguidades. A prevenção envolve treinamento contínuo da equipe, reuniões de compatibilização de projetos, uso da metodologia BIM para visualização 3D e fiscalização rigorosa com checklists baseados nos desenhos. A clareza no detalhamento pelo projetista também é fundamental para reduzir riscos de interpretação equivocada.

A interpretação correta do projeto representa um elo crítico entre a fase de concepção e a execução, sendo frequentemente subestimada. Erros nessa etapa como leitura equivocada de desenhos, incompreensão de detalhamentos ou incompatibilidade entre projetos complementares podem gerar manifestações patológicas mesmo quando o projeto original é adequado. Estudos indicam que falhas de interpretação respondem por uma parcela relevante das anomalias na execução, agravando custos e reduzindo a durabilidade da edificação (Souza & Ripper, 1998).

4.5.4 Causas intrínsecas

As manifestações patológicas de causas intrínsecas originam-se de processos internos ao material, relacionados à sua composição química, reações de hidratação ou incompatibilidades entre componentes. Essas patologias, embora menos frequentes que as de origem externa, podem comprometer severamente a durabilidade quando os materiais não são adequadamente selecionados ou testados (Mehta & Monteiro, 1994).

A prevenção baseia-se na seleção de materiais compatíveis, ensaios como ABNT NBR 15577 (2018), uso de cimentos de baixo álcali, aditivos incorporadores de ar e controle de temperatura na cura. Essas causas intrínsecas destacam a importância dos estudos de dosagem e compatibilidade desde a concepção.

4.5.5 Causas extrínsecas

As manifestações patológicas de causas extrínsecas distinguem-se das intrínsecas por serem provocadas por fatores externos à composição do material, como exposição ambiental, ações mecânicas ou agentes agressivos presentes no meio circundante. Essas degradações são as mais comuns em estruturas de concreto armado, especialmente em ambientes urbanos, industriais ou litorâneos, e podem ser aceleradas por falhas de proteção (Helene, 1992). A prevenção envolve classificação da agressividade ambiental (ABNT NBR 6118, 2024), uso de concretos resistentes (baixo fator em relação água/cimento, aditivos), proteções superficiais (pinturas, impermeabilizantes) e manutenção periódica.

4.5.6 Causas químicas

As causas químicas referem-se a ataques provocados por substâncias químicas presentes no ambiente (ar, água, solo ou poluentes) que reagem com os constituintes do concreto ou com as armaduras de aço. Esses processos de degradação são os mais comuns em ambientes industriais, litorâneos, urbanos ou com solos agressivos, reduzindo significativamente a durabilidade da estrutura quando não há proteção adequada. A Figura 1 apresenta armadura do concreto armado exposta, possibilitando o ataque de agentes químicos e diminuindo a segurança da construção.

Figura 1 - Armadura de concreto exposta



Fonte: Manifestações patológicas nas estruturas de concreto (2022)

A ABNT NBR 6118 (2024) classifica a agressividade química em classes (I a IV) e recomenda medidas como aumento do cobrimento, uso de cimentos resistentes a sulfatos (CP IV ou CP V), aditivos pozolânicos e barreiras protetoras (revestimentos epóxi ou impermeabilizantes). As principais causas químicas e suas manifestações incluem: corrosão das armaduras por cloretos, carbonatação do concreto, ataque sulfático, ataque ácido.

4.5.7 Causas Físicas

As causas físicas representam um grupo importante de agressões extrínsecas às estruturas de concreto armado, caracterizadas por ações mecânicas, térmicas ou relacionadas à umidade que não envolvem reações químicas primárias. Essas agressões geram tensões internas ou externas que excedem a capacidade resistente do material, resultando em degradações progressivas que comprometem a estética, a funcionalidade e, em casos graves, a segurança estrutural (Helene, 1992).

Dentre as principais causas físicas, destacam-se: Abrasão e erosão superficial, resultante do atrito mecânico contínuo (tráfego veicular pesado, partículas transportadas pelo vento ou fluxo de água com sedimentos), remove gradualmente a pasta cimentícia, expondo agregados graúdos e reduzindo a espessura da seção. É comum em pisos industriais, pavimentos

rodoviários e estruturas hidráulicas; Ações mecânicas excessivas, incluem sobrecargas acidentais, impactos, vibrações repetitivas ou recalques diferenciais de fundação. Essas ações geram concentrações de tensões localizadas, resultando em trincas ativas (que se abrem com a carga), fissuras diagonais por cisalhamento ou deformações permanentes (flechas excessivas).

Figura 2 - Desgaste causado por abrasão



Fonte: Domus telhas e revestimento de concreto (2010)

O desgaste por abrasão (Figura 2) consiste na perda de material de uma superfície sólida devido ao contato e movimento relativo de partículas rígidas ou protuberâncias duras, que raspam ou cortam o material. Pode ocorrer em duas formas principais: abrasão de dois corpos, contato direto entre duas superfícies duras, ou de três corpos, partículas abrasivas soltas entre as superfícies. (Araújo, 2014).

4.6 Tipos de manifestações patológicas

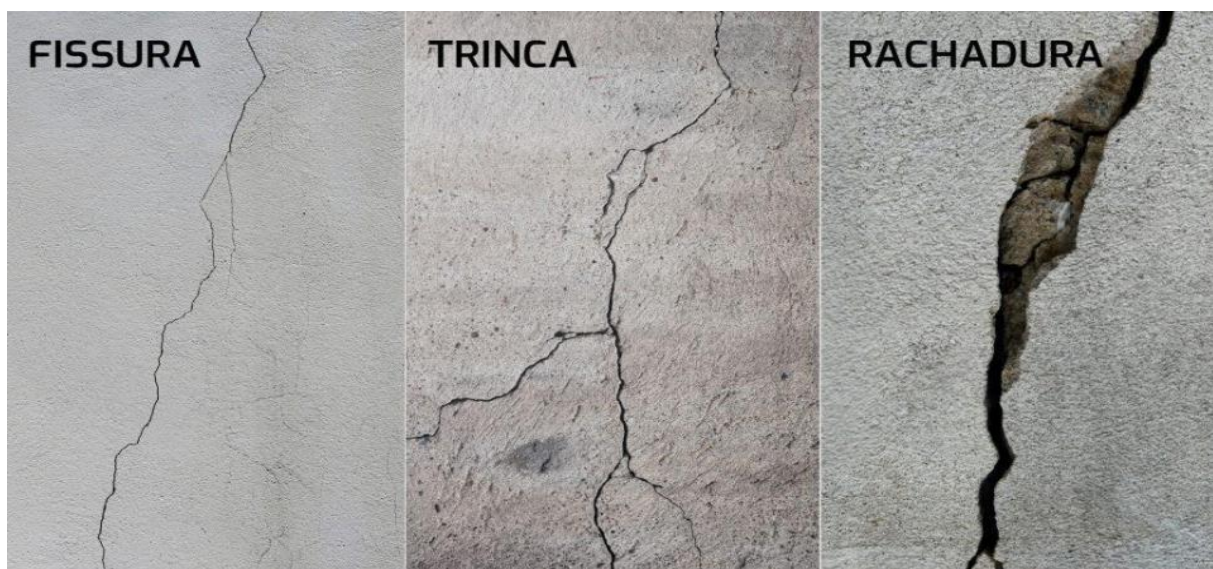
Os principais tipos de manifestações patológicas em edificações, especialmente em estruturas de concreto armado, são os "sintomas" visíveis de problemas que afetam a durabilidade, segurança e estética. Elas surgem por falhas em projeto, execução, materiais ou manutenção. Nos tópicos seguintes serão abordadas as manifestações patológicas mais comuns, tais como: fissuras, corrosão, concreto segregado ou mal vibrado, desgaste superficial do concreto.

4.6.1 Fissuras

As fissuras são uma das manifestações patológicas mais comuns em estruturas de concreto armado, presentes em praticamente todas as edificações em algum grau. Elas surgem quando as tensões de tração no concreto excedem a resistência do material, provocando uma ruptura localizada do material. Nesse estágio, ocorre uma redistribuição de tensões de tração para armadura por meio de mecanismos de aderência. Nos trechos fissurados, ocorrem deslizamento relativos na interface concreto-aço, caracterizando fenômenos de interação parcial entre os materiais.

Embora sejam inevitáveis, como reconhece a ABNT NBR 6118 (2024), as fissuras podem ser controladas para garantir durabilidade, estética e segurança. Nesse contexto, a depender da abertura (Figura 3) as fissuras podem ser classificadas como: Microfissuras, até 0,05 mm (quase invisíveis a olho nu); Fissuras, até 0,5 mm (finas, geralmente superficiais e não estruturais); Trincas, entre 0,5 mm e 1 mm (mais visíveis, podem indicar problemas moderados); Rachaduras, maior que 1 mm (graves, frequentemente estruturais e exigem intervenção urgente). A ABNT NBR 6118 (2024) limita a abertura máxima característica em elementos estruturais para 0,3 mm ou 0,4 mm, dependendo da classe de agressividade ambiental, para evitar corrosão das armaduras.

Figura 3 - Diferença entre fissura, trinca e rachadura



Fonte: fissuras, trincas e rachaduras (2022)

Após o endurecimento do concreto, as fissuras podem ter causas físicas, químicas, ambientais ou estruturais. A causa física se dá por tração dos agregados ou da argamassa; a

causa química se dá por corrosão das armaduras, reação álcalis-agregados ou carbonatação; a causa ambiental por variação térmica ou gradiente térmico durante a hidratação; enquanto a causa estrutural se dá por carregamento acidental, fluência, acréscimo de carregamento ou subdimensionamento.

As fissuras também podem se manter ativas (vivas), variando comprimento, abertura e profundidade ao longo do tempo, ou se manterem passivas (mortas), onde sua movimentação permanece inalterada ao longo do tempo, isto é, estabilizada. As fissuras térmicas (Figura 4) são exemplos de fissuras ativas.

Figura 4 – Fissura térmica



Fonte: Dallminas (2022)

4.6.2 Corrosão

A corrosão das armaduras (barras de aço) é uma das manifestações patológicas mais graves e comuns em estruturas de concreto armado. Ela é responsável por bilhões em custos de reparo anualmente no mundo todo e pode comprometer seriamente a segurança estrutural se não for tratada. A Figura 5 apresenta a armadura com um grau elevado de corrosão, em que o aço já não está mais desempenhando satisfatoriamente sua função, necessitando de reparos o quanto antes.

Figura 5 - Patologia de corrosão da armadura



Fonte: corrosão da armadura em estruturas de concreto (2024)

Essa manifestação patológica ocorre quando a armadura de aço perde sua proteção alcalina, geralmente por penetração de agentes agressivos como cloretos e CO_2 , resultando em oxidação do ferro, expansão da ferrugem (que é maior que o aço), fissuração, deslocamento do concreto, redução da capacidade estrutural e risco de colapso, sendo um processo eletroquímico acelerado pela umidade e falhas no cobrimento do concreto, exigindo reparos que incluem remoção do concreto danificado, limpeza do aço e aplicação de argamassas especiais.

4.6.3 Concreto segregado ou mal vibrado

A segregação e a falta de adensamento, má vibração, são patologias de execução que resultam em concreto heterogêneo, com áreas de alta porosidade conhecidas como bicheiras, ninhos de concretagem. Essa falha ocorre quando os componentes do concreto (agregados graúdos, areia, pasta de cimento e água) se separam durante o lançamento ou adensamento, criando vazios e reduzindo drasticamente a qualidade do material. De acordo com Helene 1992, a segregação é uma das causas mais frequentes de redução da durabilidade, pois facilita a penetração de agentes agressivos (água, CO_2 , cloretos), acelerando corrosão das armaduras. A Figura 6 apresenta uma viga que não foi corretamente concretada, pois o concreto apresenta segregação possibilitado o ataque de agente químicos ao aço.

Figura 6 - Concreto segregado



Fonte: Construneic (2023)

4.6.4 Desgaste superficial do concreto

O desgaste superficial do concreto, também chamado de abrasão superficial ou pulverulência (Figura 7), é uma patologia que afeta principalmente pisos, pavimentos e superfícies expostas ao tráfego ou agentes agressivos. Ele se caracteriza pela perda progressiva da camada superficial da pasta de cimento, expondo os agregados (areia e brita) e tornando a superfície áspera, poeirenta ou esfarelada.

Figura 7 - Desgaste Superficial Do Concreto



Fonte: Recuperação superficial de piso de concreto com desgaste (2023)

Essa manifestação é comum em pisos industriais, garagens, calçadas e lajes de estacionamento, e pode evoluir para problemas mais graves como redução da durabilidade e facilitação de outras patologias (infiltrações, corrosão). ABNTNBR 15575 (2021) Desempenho de edificações, exige resistência mínima à abrasão para pisos, ABNT NBR 7680 (2015) para ensaios de resistência à abrasão.

De acordo com Paulo Helene, as causas mais frequentes incluem: Acabamento inadequado, Cura insuficiente, excesso de água no acabamento ou falta de proteção superficial; Baixa resistência da camada superficial, concreto com alta relação água/cimento, traço pobre em cimento ou agregados fracos, Ação mecânica, tráfego intenso de veículos, rodas abrasivas, arraste de materiais ou impacto; Ataque químico, exposição a ácidos, sais ou erosão; Pulverulência, Desagregação por carbonatação excessiva ou má qualidade da pasta.

4.7 Alternativas de intervenção

Nem todo concreto danificado requer reparo imediato. Muitos fatores precisam ser levados em consideração antes da decisão de executar a reparação. Obviamente, a reparação é necessária se o dano afeta a segurança ou a operação segura da estrutura. Da mesma forma, os reparos devem ser realizados se a deterioração atingiu um estado, ou está a progredir a um ritmo tal que possa provocar uma falha estrutural.

Antes de selecionar materiais de reparação, deve ser realizado um levantamento sobre os custos e disponibilidade dos materiais, a logística sobre a instalação, custo-eficácia e a viabilidade técnica, entre outros fatores que podem determinar os materiais mais eficientes para cada situação. É importante uma pesquisa cuidadosa sobre os materiais de reparação afim de escolher os mais apropriados para o projeto.

4.7.1 Recuperação X reforço estrutural

A escolha depende exclusivamente do diagnóstico da manifestação patológica, da causa raiz, da extensão do dano e das novas exigências de uso da estrutura. Muitas vezes, as duas técnicas são aplicadas combinadas no mesmo projeto, o processo segue etapas rigorosas: diagnóstico, identificação da causa, escolha da intervenção.

A recuperação estrutural restaura a condição original da estrutura, removendo danos e recuperando durabilidade. Indicado quando a manifestações patológicas como corrosão, deslocamento, fissuras por retração, segregação ou carbonatação, sem mudança de uso. Já reforço estrutural aumentar a capacidade resistente (flexão, compressão, cisalhamento) para novas cargas ou corrigir subdimensionamento. Indicado quando o aumento de carga, erro de projeto original, perda de seção por corrosão avançada.

A recuperação estrutural é a opção com menor dano ambiental na maioria dos casos, pois prioriza a preservação e reutilização da estrutura existente, alinhada aos princípios de economia circular e sustentabilidade na construção (Helene, 1992). Em termos de impacto ambiental, a recuperação estrutural geralmente causa menor dano, pois tem: menor consumo de materiais novos, menos resíduos e demolições, prolongamento da vida útil e menor pegada de carbono geral.

4.7.2 Estratégias para utilização e manutenção das estruturas de concreto

As estruturas de concreto armado são projetadas para vida útil mínima conforme ABNT NBR 15575 (2021), mas isso depende de uso correto e manutenção adequada. Ignorar essas práticas acelera patologias como fissuras, corrosão e desgaste, aumentando custos e riscos. As estratégias para utilização e manutenção eficazes de estruturas de concreto armado envolvem uma combinação de inspeção regular, reparo proativo e medidas preventivas. Adotar um plano de manutenção estruturado não é apenas uma boa prática técnica: é uma responsabilidade civil, econômica e ambiental.

A utilização correta é o fundamento para preservar a integridade e a durabilidade das estruturas de concreto armado. Erros no uso diário podem acelerar patologias como fissuras estruturais, deformações excessivas ou até perda de capacidade. As principais práticas de utilização adequada são: Respeite as cargas previstas, não realize intervenções sem projeto, proteja contra impactos e vibrações e controle ambiental.

4.7.3 Conceito de manutenção estrutural

A manutenção estrutural é o conjunto de ações planejadas e sistemáticas destinadas a preservar ou restaurar as condições de segurança, funcionalidade e durabilidade dos elementos estruturais de uma edificação (pilares, vigas, lajes, fundações etc.) ao longo de sua vida útil. A

manutenção estrutural foca na integridade do esqueleto da edificação, prevenindo ou corrigindo patologias que possam comprometer a capacidade, a estabilidade ou a segurança dos usuários.

4.7.4 Inspeção periódica

A inspeção periódica é o processo sistemático de avaliação da condição estrutural e funcional de uma edificação, com o objetivo de identificar precocemente patologias, garantir a segurança dos usuários e subsidiar o plano de manutenção. A inspeção periódica não é mero cumprimento burocrático, é a ferramenta mais eficaz para prevenir problemas graves e preservar o patrimônio. Edifícios com inspeções regulares apresentam custos de manutenção menores ao longo da vida útil.

4.7.5 Inspeção detalhada

A inspeção detalhada ou técnica aprofundada, é uma avaliação avançada e sistemática da estrutura, realizada por engenheiro especializado, com uso de ensaios não destrutivos e semi-destrutivos. Ela vai além da inspeção visual simples, quantificando o estado de conservação, identificando patologias ocultas e subsidiando laudos técnicos precisos. A inspeção detalhada é o instrumento mais poderoso para uma manutenção preditiva eficaz, evitando surpresas caras e garantindo segurança.

4.7.6 Serviços de limpeza

Os serviços de limpeza são uma das ações mais importantes na manutenção preventiva de edificações de concreto armado. Eles previnem patologias graves, como infiltrações, corrosão acelerada das armaduras, eflorescências e mofo, que surgem pelo acúmulo de sujeira, folhas, detritos ou poluição. De acordo com a ABNT NBR 5674 (2012) - Manutenção de edificações, a limpeza regular integra o sistema de gestão de manutenção e deve ser programada periodicamente.

4.7.7 Processos de proteção superficial do concreto

A proteção superficial do concreto é uma estratégia essencial para aumentar a durabilidade das estruturas de concreto armado, reduzindo a penetração de agentes agressivos como água, CO₂, cloretos e poluentes. Esses processos formam barreiras físicas ou químicas na superfície, prevenindo patologias como carbonatação, corrosão das armaduras, eflorescências e desgaste abrasivo. Esses processos são econômicos e sustentáveis, prolongando significativamente a vida útil da estrutura quando combinados com boa manutenção. Em ambientes litorâneos ou industriais, a proteção superficial pode dobrar o tempo até a primeira intervenção corretiva.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das principais etapas da construção civil é a concretagem. Qualquer equívoco no planejamento ou durante a supervisão das atividades que atrase ou prejudique a concretagem pode ser fatal para toda a obra. É preciso entender que para uma estrutura de concreto armado almejar um bom nível, com a ausência de manifestações patológicas, todas as áreas envolvidas (Viabilidade social, econômica e ambiental), desde a mão de obra de execução e os projetistas, os materiais utilizados, o conhecimento sobre o solo e o ambiente no qual se deseja construir, devem estar em consonância.

O concreto, como todo material, necessita de medidas de manutenção para que possa atingir a vida útil para qual a estrutura foi projetada, dessa forma os profissionais da construção civil devem ser conscientizados de que as estruturas de concreto não estão livres das agressividades que sofrem durante do tempo devido a agressividade do ambiente. Além de medidas adequadas de manutenção, é necessário que haja a implementação das exigências das normas vigentes nas etapas de projeto, de execução e de uso das edificações.

Dessa forma, ocorre após uma série de outras atividades e, para que a concretagem seja realizada de forma segura e com qualidade, é essencial que as etapas que a antecedem sejam executadas conforme o planejado. A qualidade do material, a forma como é armazenado e, principalmente, a falta de supervisão são fatores que influenciam de forma direta se uma obra terá ou não determinadas patologias.

É imperativo o rigoroso cumprimento de todas as leis federais, normas técnicas (NBRs da ABNT) e regulamentações que estabelecem padrões mínimos de qualidade, segurança, desempenho e durabilidade nas edificações e obras de construção civil no Brasil. Desde a fase

de concepção e planejamento do empreendimento até a execução das atividades no canteiro de obras e a posterior manutenção, as construtoras, incorporadoras e gestores devem adotar práticas sistemáticas de gestão integrada da obra que assegurem conformidade total com os requisitos normativos vigentes.

Em virtude de todo material estudado, conclui-se que as causas das patologias no concreto são as mais diversas e podem ser evitadas na fase da execução se tomar os devidos cuidados, lembrando-se dos pequenos detalhes que fazem a diferença no produto final, pois a qualidade das edificações depende não só de um bom projeto, mas também de cuidados na sua execução.

Em resumo, conhecer as manifestações patológicas não é apenas uma competência técnica: é uma responsabilidade ética, econômica e social. Permite transformar problemas potenciais em oportunidades de intervenção precoce, garantindo que as edificações de concreto armado cumpram seu propósito principal que é oferecer segurança, conforto e durabilidade por décadas. Ignorar esses sinais é arriscar vidas, patrimônio e recursos; compreendê-los e agir sobre eles é construir um futuro mais seguro e sustentável para nossas cidades.

5.1 Sugestões para trabalho futuro

5.1.1 Concreto mais sustentável

A produção do concreto tradicional representa cerca de 8% a 10% das emissões globais de CO₂ (Ibracon, 2019), configurando um material de construção prejudicial ao meio ambiente. O concreto sustentável busca reduzir drasticamente o impacto ambiental do concreto tradicional.

O avanço da inteligência artificial (IA) tem revolucionado a produção de agregados mais sustentáveis para o concreto, promovendo a economia circular na construção civil e reduzindo impactos ambientais como extração de recursos naturais e emissões de CO₂. A IA, por meio de técnicas de machine learning (ML), permite prever com alta precisão as propriedades mecânicas, resistência à compressão, durabilidade de concretos com agregados reciclados, provenientes de resíduos de construção e demolição - RCD, subprodutos industriais: escórias, cinzas, ou materiais alternativos: vidro moído, resíduos agrícolas (Leão, 2024).

Os agregados sustentáveis como os resíduos de construção e demolição, escória de alto-forno, cinza volante ou vidro reciclado representam uma alternativa ecológica aos agregados

naturais, reduzindo a extração de recursos e o descarte em aterros. O uso de agregados sustentáveis, regido por normas técnicas como a ABNT NBR 15116 (2021), está mais relacionado à prevenção de patologias quando se adota um controle de qualidade rigoroso do que a uma prevenção intrínseca do material em si.

Em suma, a utilização de agregados sustentáveis não previne patologias automaticamente, mas, quando empregada com os devidos cuidados técnicos, controle de qualidade e em conformidade com as normas vigentes, permite a construção de estruturas duráveis e com menor impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, Anderson Anacleto. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. 2010. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010;
- ANTONIAZZI, J. P. **Patologia das construções**: Metodologia para diagnóstico e estudo de caso em marquises. 2008. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008;
- ARAÚJO, J. M. D. **Curso de Concreto Armado**. Rio Grande: Dunas, 2014. AZEVEDO, M. T. Patologia das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto – Ciência e Tecnologia. v.2; São Paulo, 2011;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2024;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2024;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2022;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680**: Concreto — Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2015;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos utilizados em concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2019;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras. Rio de Janeiro, 2023;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: agregados reciclados usados em argamassas e concretos de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2021;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2021;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577**: Agregados - Reatividade álcali-agregado. Rio de Janeiro, 2018;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696**: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2009;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900**: Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018;

AXFIBER. **corrosão da armadura em estruturas de concreto**, 2024. Disponível em: <https://www.axfiber.com.br/single-post/2016/12/08/corros%C3%A3o-da-armadura-em-estruturas-de-concreto>. Acesso em 15/01/2026;

CLÍMACO, J. C. T. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 2. ed Brasília: UNB, 2016. 410 p;

CONSTRUNEIC. **Segregação do concreto**, 2023. Disponível em: <https://construneic.com/concreto-armado/segregacion-del-concreto/>. Acesso em 15/01/2026;

DALLMINAS. **fissuras, trincas e rachaduras**, 2022. Disponível em: <https://www.dallminas.com.br/fissuras-trincas-e-rachaduras/>. Acesso em 15/01/2026;

DIPROTEC. **Recuperação superficial de piso de concreto com desgaste**, 2023. Disponível em: <https://diprotec.com.br/blog/case-recuperacao-superficial-de-piso-de-concreto-com-desgaste/>. Acesso em 15/01/2026;

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992;

LAPA, J. S. **Patologia, Recuperação E Reparo Das Estruturas De Concreto**. Monografia, Especialização em Construção Civil – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008;

LEÃO, N. J. et al. **Aprendizado de máquina para predição de resistência à compressão de argamassas com e sem resíduo de construção**. Revista Matéria, 2024;

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Ed. São Paulo. PINI, 1994;

MIOTTO, Daniela. **Estudo de caso de patologias observadas em edificação escolar estadual no município de Pato Branco-PR**. 2010. Monografia (Especialização em Construção de Obras Públicas) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2010;

PINHEIRO, IGOR. **Manifestações patológicas nas estruturas de concreto**, 2022. Disponível em: <https://inovacivil.com.br/manifestacoes-patologicas-nas-estruturas-de-concreto/>. Acesso em 15/01/2026;

SABBATINI, F. H. **Patologia das construções – conceitos e metodologia**, em notas de aula ou publicações da USP de 2003;

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2009.