

ANÁLISE DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS RECORRENTES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DEVIDO À AÇÃO DA UMIDADE

Paulo Eduardo Varanda Borges¹
Marcelo Rodrigo de Matos Pedreiro²

RESUMO: A Indústria da Construção Civil (ICC) desempenha um papel estratégico na economia brasileira, gerando empregos, promovendo o desenvolvimento de infraestrutura e estimulando a demanda por insumos e serviços. O concreto armado, um material versátil amplamente utilizado na ICC, enfrenta desafios como corrosão das armaduras e fissuração, que ameaçam a segurança e a durabilidade das estruturas. Portanto, a análise e a pesquisa contínua são cruciais para identificar anomalias precocemente e implementar soluções eficazes, juntamente com investimentos em tecnologia, monitoramento e práticas construtivas responsáveis, a fim de garantir a segurança, durabilidade e sustentabilidade das construções, contribuindo para o progresso socioeconômico do país e prevenindo problemas futuros. O estudo abordou a análise das patologias do concreto armado devido à umidade, incluindo a identificação, classificação, investigação das causas e avaliação das consequências desses problemas. Concluiu-se que a umidade é uma ameaça particular para o concreto armado, pois pode desencadear processos de deterioração que comprometem a integridade estrutural, tornando imperativo adotar medidas proativas para mitigar esses efeitos adversos.

6007

Palavras-Chave: Concreto. Indústria da Construção Civil. Patologia. Umidade.

1 INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção Civil (ICC) desempenha um papel estratégico no contexto econômico e social do Brasil. Como um dos setores fundamentais da economia nacional, ela desencadeia impactos significativos na geração de empregos, no desenvolvimento de infraestrutura e na promoção da demanda por insumos e serviços. Além de contribuir para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), a construção civil tem uma estreita relação com outros setores produtivos, impulsionando, assim, o progresso de diversas atividades econômicas. Ademais, ao promover o desenvolvimento urbano e habitacional, possui substancial representatividade na melhoria da qualidade de vida da população, sendo que, nesta conjuntura em específico, muitos projetos são realizados em concreto armado, denotando, por analogia, a importância deste insumo para a ICC (MACEDO, 2017).

¹Graduando em Engenharia Civil, Universidade Brasil de Fernandópolis.

²Orientador do curso de Engenharia Civil, Universidade Brasil de Fernandópolis.

O concreto armado é um dos materiais mais versáteis e amplamente utilizados na Indústria da Construção Civil. Sua combinação de concreto e aço confere-lhe características singulares de resistência mecânica e durabilidade, tornando-o ideal para aplicações estruturais. Dentre suas principais utilizações, destacam-se a construção de edifícios residenciais e comerciais, pontes, viadutos, barragens, estruturas portuárias e de saneamento básico. A facilidade de moldagem e a adaptabilidade às mais diversas formas arquitetônicas permitem-lhe que seja empregado em projetos de diferentes complexidades, tornando-se um componente essencial para a consolidação de obras de grande porte (MEHTA E MONTEIRO, 2008; BOTELHO, 2018).

Apesar de sua ampla utilização, o concreto armado está sujeito a diversos problemas patológicos que podem comprometer a integridade das estruturas. Entre as patologias mais comuns destacam-se a corrosão das armaduras, fissuração, deslocamentos, dentre outras. Essas patologias podem levar à redução da capacidade de carga, à diminuição da vida útil das estruturas e, em casos mais graves, a colapsos, representando riscos significativos para a segurança pública e acarretando custos elevados para a recuperação (GRANATO, 2006; MEIRA, 2017; RIBEIRO, 2013).

Diante dos desafios impostos pelas patologias no concreto armado, torna-se fundamental uma análise aprofundada desses problemas, a fim de se encontrar soluções eficazes para mitigar seus impactos e garantir a durabilidade e a segurança das estruturas. Investimentos em pesquisas científicas e tecnológicas, bem como em técnicas de monitoramento e manutenção preditiva, são estratégias essenciais para a identificação precoce de anomalias e a implementação de medidas corretivas adequadas. Ademais, o aprimoramento das práticas construtivas, a escolha criteriosa de materiais e a adoção de sistemas de impermeabilização eficientes são medidas preventivas imprescindíveis para a conservação e o prolongamento da vida útil das estruturas em concreto armado (BARREIROS, 2019; GRANATO, 2006).

Diante do papel estratégico da Indústria da Construção Civil no Brasil e da relevância do concreto armado como um dos principais materiais estruturais, é imperativo compreender e enfrentar os desafios impostos pelas patologias que afetam essas estruturas. A análise criteriosa do cenário em questão, com ênfase nas causas e consequências, aliada à busca por soluções eficazes, assume um caráter crucial para garantir a segurança, a durabilidade e a sustentabilidade das construções. O avanço do conhecimento científico e tecnológico, em concomitância à adoção de práticas construtivas responsáveis, permitirá que

a Indústria da Construção Civil e a utilização do material salientado continuem a prosperar, impulsionando o desenvolvimento socioeconômico do país e prevenindo as ocorrências anteriormente discriminadas (MACEDO, 2017; MENDONÇA, 2015; BAZZO E PEREIRA, 2006).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as principais patologias encontradas em estruturas de concreto armado, no que se refere às causas e consequências das ocorrências resultantes da ação da umidade

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

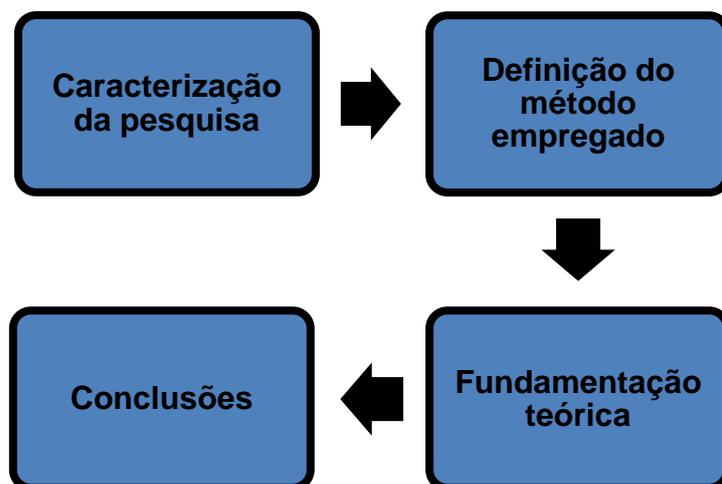
- Identificar e classificar as principais patologias que afetam o concreto armado;
- Investigar as causas das patologias do concreto armado;
- Avaliar as consequências das patologias do concreto armado;

3 METODOLOGIA

6009

Inicialmente, no que se refere ao conjunto metodológico de técnicas utilizadas para a elaboração do presente trabalho, apresenta-se o fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma metodológico



Fonte: Autor (2023).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Em se tratando das atribuições qualitativas da pesquisa realizada no presente projeto, determinou-se o emprego da sistematização afirmada por Almeida (2021). Sendo assim, observa-se a Tabela 1 com a caracterização da mesma, mediante os quatro principais conceitos classificatórios: natureza, objetivo, procedimentos e abordagem.

Tabela 1 – Caracterização da pesquisa (continua)

CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	
NATUREZA Aplicada	Com o foco na aplicabilidade e aproveitamento da pesquisa, busca-se antecipar as potenciais implicações práticas do conhecimento adquirido para abordar questões tanto individuais como coletivas.

Fonte: Autor (2023).

Tabela 1 – Caracterização da pesquisa (continuação)

CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	
OBJETIVO Exploratória	O propósito dessa abordagem é enriquecer o conhecimento e a compreensão acerca de uma temática específica, ao mesmo tempo em que auxilia na definição precisa do tema de trabalho. Essa abordagem pode ser empregada em diferentes formas, como pesquisa bibliográfica e estudos de caso.
PROCEDIMENTO Revisão Bibliográfica	Uma revisão bibliográfica consiste em uma análise sistemática e crítica da literatura existente sobre um determinado tema ou problema de pesquisa. Esse tipo de estudo envolve a coleta, seleção e análise de artigos científicos, livros, teses e outras fontes relevantes para obter uma compreensão abrangente do assunto em questão
ABORDAGEM Qualitativa	A pesquisa qualitativa enfatiza a compreensão dos fenômenos e suas diversas conexões com múltiplos significados, estabelecendo uma relação entre o mundo objetivo e o pesquisador. Não requer o uso de análises estatísticas ou matemáticas, utilizando o ambiente como fonte principal de coleta de dados e enfatizando a descrição detalhada do estudo.

Fonte: Autor (2023)

3.2 DEFINIÇÃO DO MÉTODO

No que concerne aos métodos de pesquisa utilizados para as inferências do estudo discriminado, optou-se pelo emprego da conjunção de dois distintos: o dialético e o indutivo.

O emprego do método dialético em uma pesquisa acadêmica revela-se como uma abordagem fundamental para a compreensão aprofundada e crítica dos fenômenos estudados, pois busca entender as contradições e mudanças inerentes aos objetos de estudo, reconhecendo-os como entidades em constante transformação. Por meio da análise de opostos e contrários, a dialética visa superar a dicotomia entre tese e antítese, permitindo a síntese de novos conhecimentos. Na pesquisa acadêmica, essa abordagem é aplicada para elucidar as complexidades dos fenômenos investigados, identificando seus contextos históricos, sociais e culturais, além de promover uma interpretação crítica dos resultados e contribuir para a evolução do conhecimento científico em uma perspectiva mais ampla (ALMEIDA, 2021; LAKATOS E MARCONI, 2003; PRODANOV E FREITAS, 2013).

Já o método indutivo, no âmbito da pesquisa acadêmica, desempenha um papel essencial na construção de conhecimento científico fundamentado e embasado em evidências observáveis. Essa abordagem parte da observação de casos específicos para, em seguida, generalizar conclusões e princípios gerais. Ao analisar uma série de dados, o pesquisador busca identificar padrões e regularidades que possam sustentar inferências abrangentes sobre o fenômeno estudado. Dessa forma, o método indutivo proporciona uma estrutura sólida e sistemática para a investigação científica, conferindo rigor e credibilidade às conclusões obtidas, contribuindo, assim, para o avanço do conhecimento em diversas áreas do saber (ALMEIDA, 2021; LAKATOS E MARCONI, 2003; PRODANOV E FREITAS, 2013).

3.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No que se refere à fundamentação teórica do estudo em questão, ressalta-se que foram utilizados livros, sites, artigos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, e outros documentos. Por conseguinte, observa-se na Tabela 2 um resumo geral dos principais autores utilizados, bem como a datação de busca e as palavras chave de procura.

Tabela 2 – Principais fontes para embasamento teórico (continua)

PRINCIPAIS FONTES DE FUNDAMENTAÇÃO		
AUTORES	DATAÇÃO	PALAVRAS CHAVE
Almeida (2021) Bazzarela (2013) Lakatos e Marconi (2003) Prodanov e Freitas (2013) Bazzo e Pereira (2006)	20 ANOS	Metodologia do estudo e da pesquisa; metodologia científica, dentre outras.

Fonte: Autor (2023).

Tabela 2 – Principais fontes para embasamento teórico (continuação)

PRINCIPAIS FONTES DE FUNDAMENTAÇÃO		
AUTORES	DATAÇÃO	PALAVRAS CHAVE
Mehta e Monteiro (2008) Botelho e Marcheti (2018)	20 ANOS	Concreto armado; propriedades do concreto armado; características do concreto armado, e etc.
Granato (2006) Meira (2017) Ribeiro (2013)	15 ANOS	Patologias na construção civil; principais patologias em estruturas de concreto armado, dentre outras.
Macedo (2017) Barreiros (2019) Mendonça (2015)	10 ANOS	Causas das patologias no concreto armado; investigação das patologias no concreto armado; estudos sobre patologias em concreto armado, dentre outras.

Fonte: Autor (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 O CONCRETO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na conjuntura social e econômica da contemporaneidade, observa-se, cada vez mais, o desenvolvimento de projetos relacionados à Indústria da Construção Civil (ICC) que empregam o concreto como material primordial para o êxito das obras ensejadas. Sobre isto, Mehta e Monteiro (2008, pg. 3) afirmam:

O material de construção mais utilizado é o concreto, comumente composto da mistura de cimento Portland com areia, brita e água. Em muitos países, a proporção do consumo de concreto sobre o consumo de aço é de dez para um. O consumo mundial total de concreto no ano passado foi estimado em três bilhões de toneladas, ou seja, uma tonelada para cada ser humano vivo. Não há material mais consumido pelo homem em tamanha quantidade, com exceção da água.

Conforme pode ser observado nas ideias expressas pelos autores supramencionados, entende-se que o concreto é um material de extrema relevância para as construções em geral. De acordo com Cezario (2019), este fato deve-se em decorrência de sua natureza adaptável, propriedades mecânicas de substancial qualidade e resistência elevada as intempéries diversas.

Ademais, segundo Bauer (2008) emprega-se este insumo, principalmente, não seguintes aplicações, sendo, pois, primordialmente orientado as estruturas:

- Lajes;
- Vigas;
- Pilares;
- Fundações;
- Projetos de infraestrutura.

No entanto, apesar da importância preconizada quanto à utilização do concreto nos projetos da construção civil, segundo Righi (2009) e Barreiros (2019), os projetos que envolvem sua utilização tem apresentado a ocorrência cada vez mais expressiva de patologias relacionadas à umidade na estrutura, Com isto, conforme expressa Bazzo e Pereira (2006), compete ao profissional e ao acadêmico da área da engenharia analisar, de maneira minuciosa, fatores que são correlacionados com a sociedade, em termos de grande importância, no intuito de evitar problemáticas e maximizar o desempenho benéfico das mesmas.

4.2 A AÇÃO DA UMIDADE EM PROJETOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

A ação, em longo prazo, da água como agente de desgaste das estruturas tem sido uma das problemáticas de maior importância de análise para a Indústria da Construção Civil, uma vez que promove uma série de malefícios, tais como representados no Quadro 1 (BARREIROS, 2019; LAGE, 2012).

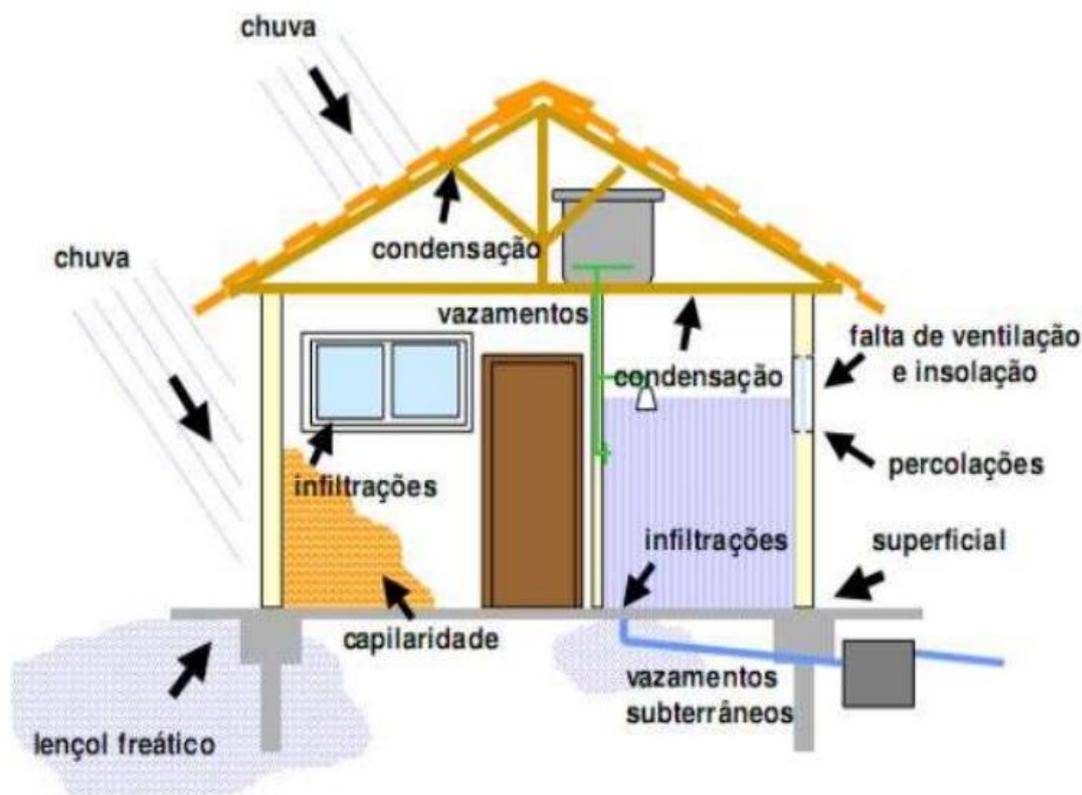
Quadro 1 – Principais problemáticas referentes à umidade na Construção Civil

<p>PERDA DE EFICIÊNCIA DA EDIFICAÇÃO</p>	<p>A presença de umidade possui potencial para ocasionar uma significativa depreciação da eficácia das edificações com o transcorrer do tempo. A infiltração nas superfícies do concreto pode induzir, conseqüentemente, a diminuição da resistência estrutural e ao comprometimento da capacidade de suporte das cargas impostas.</p>
<p>REDUÇÃO DA QUALIDADE DA APARÊNCIA ESTÉTICA</p>	<p>Quando a umidade penetra nas superfícies do concreto, ela pode provocar o aparecimento de manchas, eflorescências e descolorações, comprometendo a aparência visual das edificações. Além disso, a umidade propicia um ambiente propício para o crescimento de micro-organismos, como algas e fungos, que podem colonizar as superfícies de concreto, resultando em uma estética indesejável.</p>
<p>PREJUÍZOS FINANCEIROS</p>	<p>A umidade nas estruturas de concreto causa prejuízos financeiros significativos, exigindo reparos frequentes e dispendiosos, reforços estruturais e substituição de elementos danificados. Além disso, afeta a eficiência energética da edificação e desvaloriza a propriedade.</p>
<p>DANOS À SAÚDE DOS USUÁRIOS</p>	<p>A umidade nas estruturas de concreto pode prejudicar a saúde dos usuários, promovendo o crescimento de mofo e fungos, que liberam toxinas prejudiciais ao ar interior. Isso pode causar alergias, asma, irritações cutâneas e oculares, além de agravar problemas outras condições de saúde.</p>

Fonte: Autor (2023)

Dessa forma, em suma às considerações observadas no Quadro 1, observa-se na Figura 2 as diferentes origens de ação da umidade na Construção Civil.

Figura 2 – Formas de ação da umidade na construção civil



Fonte: Barreiros (2019)

6015

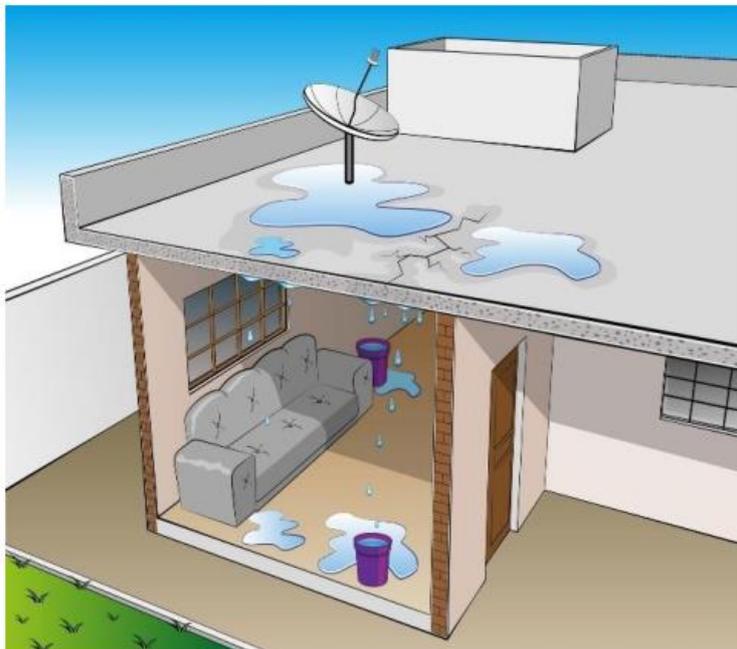
Conforme pode ser observado na Figura 2, existem diversos meios distintos pelos quais a umidade pode atuar nas estruturas de concreto, sendo, que, de acordo com Righi (2009), Souza (2008) e Alves e Simeão (2022) salientam-se as principais: umidade de infiltração; de obra, de solo, de condensação, e acidental.

4.2.1 Umidade de infiltração

Esse tipo de fenômeno de umidade ocorre quando a água penetra nas estruturas edificadas, resultante da presença de vias de ingresso que facilitam essa infiltração, tais como: fissuras, trincas, rachaduras ou falhas nas articulações dos componentes estruturais. A principal origem desse problema é atribuída à precipitação pluvial, cujo efeito é potencializado pela interação com o vento, intensificando assim a manifestação desses eventos patológicos (RIGHI, 2009; ALVES E SIMEÃO, 2022; VILELA, 2018).

Sendo assim, observa-se na Figura 3 uma ilustração da tipologia em questão.

Figura 3 – Umidade de infiltração



Fonte: Alves e Simeão (2022)

4.2.2 Umidade de obra

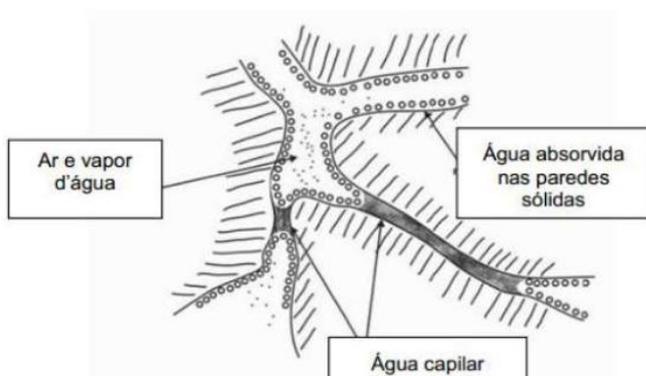
6016

Essa modalidade de umidade torna-se evidente em uma edificação após a finalização das atividades construtivas, visto que a água contida nos elementos estruturais progressivamente se dissipa, em um processo que decorre do estabelecimento do equilíbrio entre o material utilizado e o ambiente circundante. Este fenômeno é especialmente notável no contexto do concreto, onde, durante o processo de endurecimento e cura, emerge a formação de redes capilares resultantes da evaporação da água (BARREIROS, 2019; RIGHI, 2009; ALVES E SIMEÃO, 2022; VILELA, 2018).

Esta água, nesse contexto, pode ser subdividida em três componentes distintos, sendo a predominante composta por ar e vapor de água, uma parcela minoritária de água capilar e, finalmente, uma terceira fração que culmina na formação de uma película (BARREIROS, 2019; RIGHI, 2009; ALVES E SIMEÃO, 2022).

Neste sentido, então, observa-se na Figura 4 um esquema ilustrativo do tipo de umidade considerado.

Figura 4 – Umidade de obra



Fonte: Barreiros (2019)

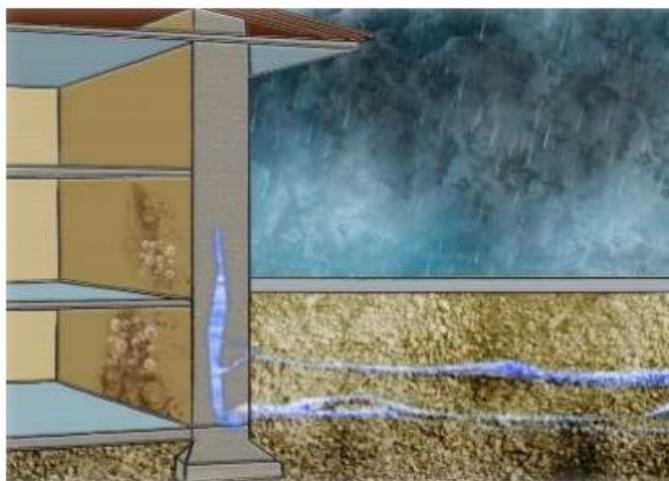
4.2.3 Umidade de solo

Esse tipo específico de umidade é também categorizado como umidade ascensional. Essa designação encontra respaldo na forma peculiar de sua manifestação, uma vez que se caracteriza pela ascensão vertical da água presente no solo, impulsionada pela ação capilar. Esse percurso se estabelece a partir do solo situado sob as fundações e se estende até a base das paredes. É importante ressaltar que tal fenômeno é observado com maior frequência em edificações cujas fundações repousam sobre elementos de composição argilosa (RIGHI, 2009; BARREIROS, 2019; LAGE, 2012; VILELA, 2018).

6017

Por conseguinte, observa-se um esquema ilustrativo deste tipo de umidade na **Figura 5**.

Figura 5 – Umidade de solo



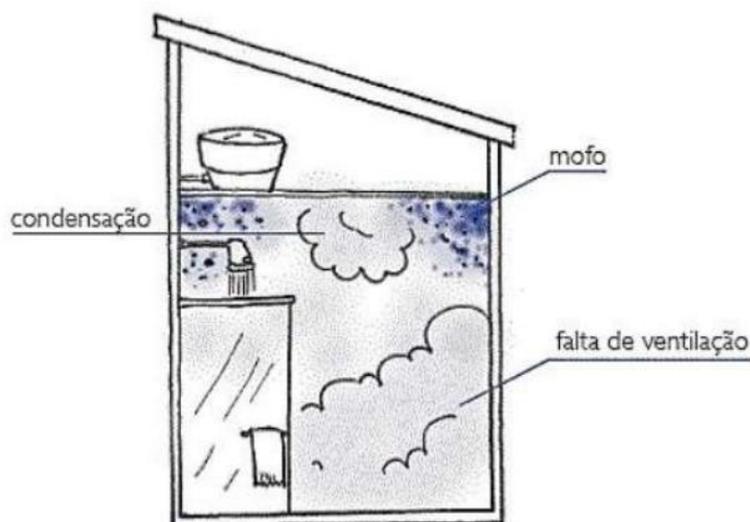
Fonte: Barreiros (2019)

4.2.4 Umidade de condensação

A geração de umidade por condensação decorre da combinação de uma alta umidade no ar com a presença de superfícies cuja temperatura se encontra abaixo do ponto de orvalho correspondente. Esse fenômeno se manifesta devido à diminuição da capacidade de retenção de umidade pelo ar quando ele é resfriado, resultando na precipitação da mesma sobre os corpos presentes no local (BARREIROS, 2019; LAGE, 2012; ALVES E SIMEÃO, 2022).

Sendo assim, observa-se na Figura 6 um exemplo ilustrativo da umidade discriminada.

Figura 6 – Umidade por condensação



Fonte: Barreiros (2019)

4.2.5 Umidade acidental

A umidade originada por deficiências nos sistemas de tubulações, englobando redes de águas pluviais, esgoto e água potável, acarreta infiltrações no contexto edificado. Esse tipo específico assume particular relevância, especialmente em edificações que já possuem uma longa história de existência, uma vez que é possível que haja a presença de materiais cujo ciclo de vida tenha sido excedido, os quais geralmente não são contemplados nos planos de manutenção predial (LAGE, 2012; ALVES E SIMEÃO, 2022).

Por conseguinte, apresenta-se na Figura 7 uma ilustração da umidade acidental.

Figura 7 – Umidade accidental



Fonte: Barreiros (2019)

4.3 PATOLOGIAS NO CONCRETO ARMADO EM DECORRÊNCIA DA UMIDADE

6019

4.3.1 Corrosão das armaduras

A corrosão das armaduras destaca-se como um dos principais fenômenos patológicos inerentes à utilização do concreto armado. O concreto, um material poroso, reage às condições ambientais, suscitando, notadamente, a corrosão do aço. Esta, por sua vez, pode ser subdividida em duas manifestações distintas: a corrosão de natureza química e a corrosão de caráter eletroquímico (MENDONÇA, 2015; BARREIROS, 2019).

A corrosão química se configura como a interação entre o oxigênio presente na atmosfera e o aço, culminando na formação de óxidos de ferro. Esse processo, devido à sua proeminente lentidão, não costuma gerar uma deterioração substancial, sendo, portanto, relativamente desimportante em termos de preocupações relacionadas à durabilidade estrutural (MACEDO, 2017; BARREIROS, 2019; MENDONÇA, 2015).

A corrosão eletroquímica figura como a modalidade mais recorrente nas estruturas de concreto armado, por conta de sua rápida disseminação e elevado potencial de degradação. Nessa manifestação patológica, ocorre a formação de polos eletroquímicos no interior da estrutura, onde se verifica o deslocamento de cargas elétricas de polaridades distintas,

resultando no processo corrosivo (MENDONÇA, 2015; BARREIROS, 2019; GRANATO, 2006).

Neste sentido, então, observa-se na Figura 8 a patologia em questão.

Figura 8 – Corrosão das armaduras do concreto



Fonte: Barreiros (2019)

No que concerne à Figura 8, compreende-se, de acordo com Ribeiro (2013) e Meira (2017), que a corrosão em estruturas de concreto resulta na falta de uniformidade do aço, que pode ser atribuída a uma variedade de fatores, tais como a presença de diferentes tipos de metais, a existência de soldas e a presença de elementos ativos na superfície como um todo.

Neste sentido, então, observa-se no Quadro 2 as principais consequências desta manifestação patológica, de acordo com Granato (2006).

Quadro 2 – Principais consequências da corrosão das armaduras do concreto (continua)

<p>DIMINUIÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO AÇO</p>	<p>Sob os efeitos corrosivos, observa-se uma considerável diminuição na seção transversal do aço, resultando em uma completa transformação do material, que passa a ser predominantemente composto por óxidos. Esse processo, desencadeia impactos substanciais na integridade estrutural.</p>
--	--

Fonte: Autor (2023)

Quadro 2 – Principais consequências da corrosão das armaduras do concreto (continuação)

<p>FISSURAÇÃO E LAMINAÇÃO</p>	<p>Sob a influência da expansão dos óxidos, o concreto tem propensão a desenvolver fissuras e laminações, fenômenos originados da crescente pressão decorrente desse processo corrosivo. Essas ocorrências são manifestações críticas da corrosão eletroquímica que impacta diretamente as estruturas de concreto armado. A ocorrência dessas irregularidades compromete substancialmente a integridade e durabilidade da estrutura, frequentemente resultando em uma significativa diminuição de sua capacidade estrutural.</p>
<p>PERDA DE ADERÊNCIA</p>	<p>Sob a influência do processo corrosivo, a aderência entre a armadura metálica e o concreto apresenta uma tendência à redução progressiva, podendo, em situações críticas, culminar na completa perda da eficácia. Esse fenômeno está intrinsecamente relacionado com a degradação da camada de óxidos de ferro, que desempenha um papel fundamental na promoção da aderência eficiente entre o aço e o concreto. A diminuição ou desaparecimento da aderência entre esses materiais implica em problemáticas significativas no que tange à capacidade de carga e à resistência estrutural, já que a transferência de tensões entre eles é comprometida.</p>

Fonte: Autor (2023)

No que concerne ao Quadro 2, segundo expressa Granato (2006), a presença de umidade desempenha um papel fundamental na viabilização das reações de oxidação que impactam as armaduras, dado que exerce influência crucial no processo catódico de redução do oxigênio. Além disso, a umidade é um elemento essencial para permitir a mobilidade dos íons no contexto do processo eletrolítico.

Por outro lado, quando se considera um concreto com baixa umidade, a resistividade elétrica atinge valores elevados, o que, por sua vez, atua como um fator inibidor da corrosão.

Entretanto, à medida que a quantidade de água presente no concreto aumenta, a resistividade elétrica diminui, o que, em princípio, pode resultar em uma elevação na taxa de corrosão. Essa relação entre umidade, resistividade elétrica e velocidade de corrosão representa um aspecto de extrema importância na avaliação e no planejamento de medidas de prevenção para proteger as estruturas de concreto contra a corrosão das armaduras (RIBEIRO, 2013; MEIRA, 2017).

4.3.2 Trincas e Fissuras

As fissuras, quando não devidamente controladas, configuram sintomas patológicos que podem se manifestar nas estruturas construídas com concreto armado, caracterizando-se pela descontinuação dos elementos estruturais. No contexto das diversas manifestações de degradação, as fissuras sobressaem como um indicador que suscita grande apreensão por parte dos usuários, uma vez que, em muitas instâncias, estão diretamente associadas à possibilidade de ruptura dos componentes. Isso acrescenta um elemento crítico na avaliação da integridade e da segurança das estruturas de concreto armado (MENDONÇA, 2015; BARREIROS, 2019; GONÇALVES, 2015).

Neste sentido, então, observa-se no Quadro 3 as principais causas que resultam em fissuras e trincas, de acordo com Granato (2006).

Quadro 3 – Principais consequências da corrosão das armaduras do concreto (continua)

<p>MOVIMENTAÇÕES QUE OCORREM NO INTERIOR DO CONCRETO</p>	<p>Os efeitos em questão geralmente só se tornam relevantes quando há uma restrição no movimento do concreto, seja devido a restrições locais, como as impostas pelas armaduras, ou a restrições mais abrangentes relacionadas aos vínculos estruturais. Esses efeitos abrangem diversas manifestações, incluindo a retração de secagem, as variações de volume decorrentes da expansão ou contração térmica, bem como a deformação plástica, entre outros.</p>
---	---

Fonte: Autor (2023)

Quadro 3 – Principais consequências da corrosão das armaduras do concreto (continua)

<p>EXPANSÃO DOS MATERIAIS NO INTERIOR DO CONCRETO</p>	<p>Reações expansivas que se desenvolvem internamente no concreto têm a capacidade de induzir tensões de tração. Essas tensões destacam-se como resposta a processos expansivos, que podem ser desencadeados por uma variedade de fatores, como variações de temperatura, reações químicas, a corrosão das armaduras, dentre outras. A formação dessas tensões de tração é de importância crítica no contexto das estruturas de concreto, uma vez que comprometem a integridade e a resistência como um todo.</p>
<p>CONDIÇÕES EXTERNAS IMPOSTAS SOBRE A ESTRUTURA</p>	<p>Inerentes à ação de cargas ou à ocorrência de deformações na estrutura, essas manifestações constituem uma categoria de fenômenos críticos que podem exercer impacto sobre a integridade de elementos construtivos. Tais efeitos, originados pela aplicação de forças ou pela imposição de deformações no material estrutural, podem envolver a formação de fissuras, deslocamentos ou alterações nas dimensões de elementos específicos. Além disso, esses efeitos podem ter repercussões diretas na capacidade de carga e resistência dos componentes estruturais, influenciando, assim, a segurança e o desempenho das construções.</p>

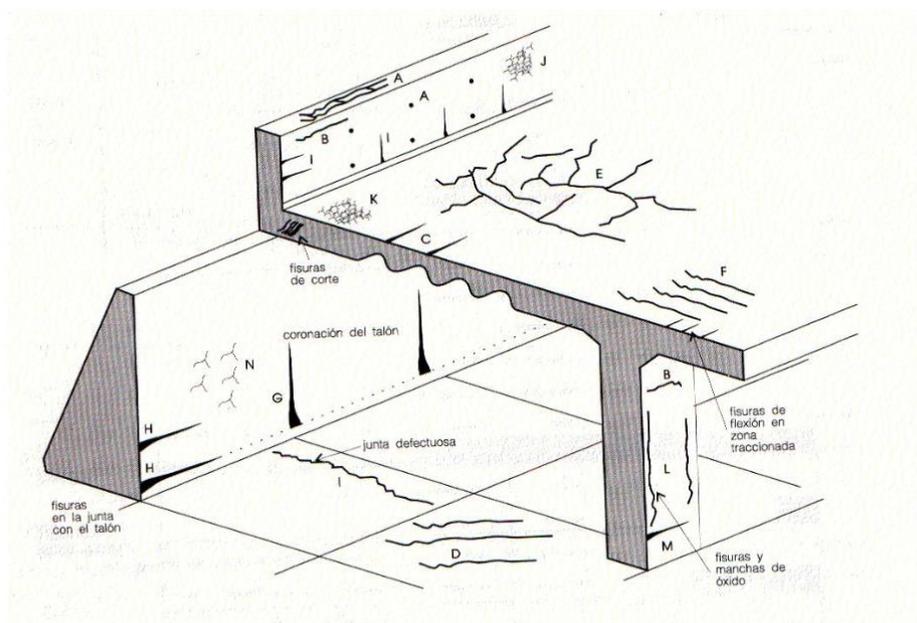
Fonte: Autor (2023)

No que se refere ao Quadro 3, compreende-se, de acordo com Barreiros (2019) e Gonçalves (2015), que a ocorrência de fissuras na superfície de uma estrutura pode ser justificada pela variação no teor de umidade, uma vez que essa mudança afeta as dimensões dos materiais porosos. Aumentos no teor de umidade resultam na expansão desses materiais, enquanto reduções levam à contração. Esses movimentos associados ao surgimento de fissuras são denominados fissuras higroscópicas.

É importante ressaltar que as fissuras higroscópicas compartilham semelhanças com aquelas induzidas por variações de temperatura. Além disso, do ponto de vista da absorção de água pelos materiais de construção, se originam devido à interação entre porosidade e capilaridade, sendo o último um fator de maior relevância (BARREIROS, 2009; MENDONÇA, 2015).

Sendo assim, observa-se na Figura 9 uma ilustração desta manifestação patológica.

Figura 9 – Fissura/trincas



Fonte: Granato (2006)

No que se refere à Figura 9, é possível categorizar as fissuras com base em sua origem e comportamento. Elas se dividem principalmente em dois grupos: ativas passivas. As fissuras ativas são aquelas que se formam em resposta a cargas variáveis, o que resulta em deformações oscilantes no concreto. Por contraste, as fissuras passivas são aquelas que tendem a se estabilizar com o tempo, ou seja, não apresentam variações dimensionais significativas (MENDONÇA, 2015).

6024

4.3.3 Mofo e Bolor

Os fungos conhecidos como mofo e bolor são categorizados como organismos vegetais e compartilham uma característica distintiva, que é a tendência de escurecer a superfície afetada, além de causar danos potenciais à estrutura em que se desenvolvem (BARREIROS, 2019; SOUZA, 2008).

Uma característica notável desses fungos é sua dependência da umidade para sobrevivência e continuidade de manifestação. Em ambientes com níveis adequados desta ocorrência, esses fungos encontram condições propícias para seu crescimento e propagação, uma vez que a presença de água é fundamental para a ativação de seus processos metabólicos e a consequente manifestação de seu impacto nas superfícies (BARREIROS, 2019; SOUZA, 2008).

Sendo assim, observa-se na Figura 10 a exemplificação do item em questão.

Figura 10 – Mofo e bolor



Fonte: Barreiros (2019)

Em se tratando da Figura 10, o desenvolvimento de bolor e mofo em edificações é um desafio de considerável relevância, com implicações significativas tanto do ponto de vista econômico quanto em relação à frequência de ocorrência, sobretudo em regiões de clima tropical. Para mitigar a manifestação desses fungos nas edificações, medidas preventivas devem ser implementadas já na fase de projeto. Estas ações visam garantir uma adequada ventilação, iluminação e exposição solar nos espaços internos, além de minimizar o risco de condensação nas superfícies internas dos componentes construtivos (SOUZA, 2008; MENDONÇA, 2015).

Adicionalmente, busca-se evitar a ocorrência de infiltração de água através de paredes, pisos e tetos. A implementação destas medidas assume um papel crucial na promoção da qualidade do ambiente interno das edificações, contribuindo para a preservação da saúde dos ocupantes e a longevidade das estruturas construídas. Portanto, a consideração e aplicação de ações preventivas são de extrema importância na prevenção dos problemas associados ao bolor e mofo em ambientes construídos (SOUZA, 2008; MENDONÇA, 2015).

4.3.4 Florescências é EFLORENCENCIA NÃO É

Esse fenômeno, de caráter patológico, é passível de manifestação em qualquer componente estrutural da edificação. Suas implicações podem variar desde impactos meramente estéticos até manifestações mais agravantes em virtude da presença de sais

constituintes, que podem conduzir a degradações significativas do elemento em análise. Em uma perspectiva mais branda, o fenômeno altera a aparência do componente onde se manifesta. No entanto, em situações mais severas, pode provocar danos substanciais que comprometem profundamente a integridade e a durabilidade do elemento afetado (BARREIROS, 2019).

Sendo assim, observa-se a patologia em questão na Figura 11.

Figura 11 - Eflorescência



Fonte: Souza (2008)

Em se tratando da Figura 11, a eflorescência, tem suas origens relacionadas a três fatores que compartilham igual significância. Estes fatores incluem o teor de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes envolvidos, a presença de água, e a influência da pressão hidrostática que promove a migração da solução salina em direção à superfície afetada. Esses elementos interagem de forma complexa para desencadear a eflorescência, que pode ter implicações estéticas e, em casos mais severos, conduzir a degradação substancial dos materiais construtivos. (BARREIROS, 2019; SOUZA, 2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação detalhada das patologias predominantes que afetam estruturas de concreto armado, em virtude da influência da umidade, destaca a importância crucial de compreender os fatores subjacentes à durabilidade e ao desempenho dessas construções. A análise dessas patologias não apenas elucidada sobre os desafios enfrentados pela engenharia

civil, mas também oferece percepções significativas para a formulação de estratégias eficazes de prevenção e manutenção.

Além disso, ao examinar as diversas manifestações de patologias associadas à umidade, tais como a corrosão das armaduras, fissuração e laminação do concreto, torna-se evidente que a umidade é um agente de deterioração insidioso que tem o potencial de comprometer a segurança e a durabilidade das estruturas. Conseqüentemente, é imperativo que os profissionais da área de engenharia, arquitetura e construção estejam vigilantes quanto às práticas de projeto, construção e manutenção que possam minimizar os efeitos adversos da umidade.

Por fim, este estudo ressalta a necessidade de abordagens interdisciplinares e estratégias de engenharia inovadoras para abordar as complexidades das patologias no que tange as estruturas de concreto armado expostas à umidade. A compreensão da interação entre materiais, projeto estrutural, ambiente de exposição e práticas de manutenção é de importância fundamental para garantir a segurança e a durabilidade contínua das edificações ao longo do tempo. Portanto, a pesquisa e a análise contínuas nessa área desempenham um papel crucial no avanço da engenharia civil e na preservação do patrimônio construído.

6027

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ítalo D. **Metodologia do trabalho científico**. Recife: Editora da UFPE, 2021.

ALVES, Victor F.; SIMEAO, Gustavo D. S. **Análise e viabilidade dos sistemas de impermeabilização rígido e flexível em edificações**. Gama: UNICEPLAC, 2022.

BARREIROS, José V. **Patologias em residência unifamiliares associadas a falha ou falta de impermeabilização: estudo de casos**. Palhoça: UNISUL, 2019.

BAUER, Falcão. **Materiais de Construção I**. Rio de Janeiro : LTC, 2008.

BAZARELLA, André. **Metodologia científica**. Indaial: Uniasselvi, 2013.

BAZZO, Walter A.; PEREIRA, Luiz T. D. V. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006.

BOTELHO, Manoel H. C.; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo! 9ª ed.** São Paulo: Blucher, 2018.

CEZARIO, Nicole S. **Sistemas estruturais I**. Londrina: Editora e distribuidora educacional S/A, 2019.

GRANATO, José E. **Patologia das construções**, 2006. Disponível em: <http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadadasconstrucoes2002.pdf>. Acesso em: 30 Julho 2023.

LAGE, Adriana D. B. **Patologias associadas à umidade: soluções ao caso concreto**. Belo Horizonte: UFMG, 2012.

LAKATOS, Eva M.; MARCONI, Marina D. A. **Fundamentos da metodologia científica**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MACEDO, Eduardo A. V. B. D. **Patologias em obras recentes de construção civil: análise crítica das causas e consequências**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2017.

MEHTA, P K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEIRA, Gibson R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa: IFPB, 2017.

MENDONÇA, Ivo M. S. D. **Patologias das edificações do CT na UFPB: fatores condicionantes e medidas de reabilitação**. João Pessoa: UFPB, 2015.

PRODANOV, Cleber C.; FREITAS, Ernani C. D. **Metodologia do trabalho científico**. 2ª. ed. Nova Hamburgo: Feevale, 2013.

RIBEIRO ET.AL. **Estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

6028

RIGHI, Geovane V. **Estudo dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções - análise de casos**. Santa Maria: UFSM, 2009.

SOUZA, Marcos F. D. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações**. Belo Horizonte: UFMG, 2008.

VILELA, Iris J. P. **A impermeabilização e suas patologias na construção civil**. Campo Grande: UNIDERP, 2018.