



Análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: um estudo de caso em uma usina sucroalcooleira no estado de Minas Gerais.

Bruno Leal Valente Souza, Maria Eduarda Oliveira de Paula
(brunolvsouza@gmail.com) (mariaeduardaodep@gmail.com)

Professor orientador: Harley Francisco Viana (harley.viana@prof.una.br)

Resumo

Com a demanda por construções mais ágeis e a escassez de mão de obra qualificada, falhas no planejamento e execução das obras tornam-se comuns, resultando no surgimento de manifestações patológicas. No contexto da construção civil no Brasil, as estruturas de concreto armado são bastante comuns devido à sua durabilidade, resistência e versatilidade. No entanto, como qualquer método construtivo, elas também estão sujeitas a patologias. Este trabalho teve como objetivo a realização de uma análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado em uma indústria sucroalcooleira, caracterizando-as e identificando as causas subjacentes a essas manifestações. O presente trabalho se caracteriza como um estudo de caso, adotando a metodologia proposta por Lichtenstein (1985), no qual se destaca três fases cruciais: levantamento de subsídios, diagnóstico da situação e definição da conduta. A análise resultou na classificação dos problemas mais recorrentes no local, incluindo corrosão, fissuras e manchas. Os resultados apontam para a influência de diversas variáveis no surgimento e desenvolvimento desses problemas, tais como altas temperaturas, vibrações, falta de manutenção e, notavelmente, o não cumprimento das recomendações mínimas normativas para construções desse tipo. Além de evidenciar os desafios enfrentados, esta análise fornece subsídios valiosos para a implementação de práticas construtivas mais eficientes, alinhadas às necessidades particulares desse setor.

Palavras-chave: Manifestações patológicas. Concreto armado. Indústria.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Thomaz (1989), as transformações no setor de construção, impulsionadas pelo aumento significativo da demanda por novos materiais, juntamente com a escassez de mão de obra qualificada e a falta de manutenção adequada das estruturas trouxeram alguns desafios para a construção, tais como, o surgimento de patologias construtivas. Essas deficiências resultaram no aumento dos gastos tanto antes, quanto depois da ocupação das edificações, o que, por sua vez, contribuiu para o aumento dos custos totais do projeto.

No passado, de acordo com Bolina et al. (2019), acreditava-se que o concreto armado era um material inalterável, uma vez que demonstrava excelente desempenho diante do uso e da exposição ao ambiente. Hoje em dia, sabe-se que isso não é verdade. Com o aumento de sua aplicação em diversos ambientes e situações, percebeu-se que, em determinados casos e sob condições específicas, alguns dos elementos que compõem as estruturas de concreto armado começaram a apresentar sinais de deterioração comuns, conhecidos como patologias estruturais, resultando em uma redução parcial ou completa da eficiência das peças e ocasionando despesas com reparos ou manutenção.



Arivabene (2015), define Patologia das Estruturas como o campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestações, consequências, mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas. Sendo assim, o estudo das patologias construtivas tem por objetivo examinar as manifestações patológicas que podem ocorrer durante a vida útil da edificação, e evitar que essas ocorrências venham a prejudicar o desempenho esperado da construção.

Considerando esse contexto, o objetivo principal deste trabalho é identificar e caracterizar as principais manifestações patológicas que incidem sobre estruturas de concreto armado localizadas em uma usina sucroalcooleira, visando a proposição de soluções para os problemas encontrados. Como objetivos específicos tem-se: Realizar uma revisão bibliográfica abrangente sobre o tema, com intuito de embasar as discussões; realizar o levantamento fotográfico do local, juntamente com a inspeção, coletas de dados e identificação das possíveis causas dos problemas encontrados; Apresentar um conjunto de recomendações de intervenção para as manifestações patológicas encontradas.

A presente pesquisa assume um papel de significativa importância, uma vez que se propõe a não apenas ampliar o entendimento a respeito das patologias que afetam as estruturas de concreto armado, mas também aprimorar a capacidade de identificar potenciais falhas que podem impactar a durabilidade dessas estruturas, bem como as possíveis causas dessas anomalias.

Thomaz (1989) destaca que a falta do registro e divulgação de dados sobre problemas patológicos retarda o desenvolvimento das técnicas de projetar e de construir. Dessa maneira, uma compreensão precisa e aprofundada das manifestações patológicas fornece a base necessária para a formulação de soluções adequadas e eficazes, que visam abordar os problemas identificados de maneira eficiente, prolongando a vida útil da estrutura e garantindo sua integridade ao longo do tempo. Portanto, o presente trabalho desempenha um papel importante, uma vez que contribui para o aprimoramento das práticas na engenharia civil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto armado

De acordo com Bastos (2023), o concreto pode ser definido como uma mistura de cimento, água e materiais inertes (como areia, pedregulho, pedra britada ou argila expandida). Esse material é empregado em estado plástico, o que significa que pode ser moldado e manipulado antes de endurecer. Com o tempo, o concreto passa por um processo de endurecimento, que é resultado da hidratação do cimento.

Silva et al. (2020) apresenta o concreto como um material que possui características vantajosas quanto à economia, conservação e alta resistência aos esforços de compressão, entre outras vantagens, mas apresenta baixa resistência aos esforços de tração. Por isso, sugere-se o seu uso juntamente com o aço, já que esse material tem uma excelente resistência à tração, surgindo, assim, o concreto armado.

Bastos (2023) complementa ainda ao afirmar que no contexto da construção de elementos estruturais em concreto armado, é comum posicionar-se previamente às armaduras de aço dentro da forma, permitindo que o concreto fresco seja lançado

para preencher a moldagem, envolvendo as armaduras e simultaneamente garantindo o adensamento e o endurecimento do concreto.

Assim como ocorre com qualquer outro material, o concreto armado sofre degradação ao longo do tempo. A durabilidade dos materiais pode ser comprometida devido à exposição a intempéries, a fatores físicos, químicos e biológicos naturais, a eventos mecânicos imprevisíveis e a sobrecargas. Se o processo de concepção e construção for realizado de forma adequada, e se o concreto for adequado ao ambiente em que está localizado, sua vida útil pode ser significativamente prolongada (WEIMER, THOMAS E DRESH, 2018).

2.2 Patologia das construções

O termo “patologia”, que é um dos fundamentos desta pesquisa, é derivado do grego (*pathos* – doença, e *logia* – ciência, estudo) e significa “estudo da doença”. Na construção civil pode-se atribuir patologia aos estudos dos danos ocorridos em edificações. Essas patologias podem se manifestar de diversas formas: trincas, fissuras, rachaduras, entre outras. Por ser encontrada em diversos aspectos, recebe o nome de manifestações patológicas (ARIVABENE, 2015).

Para Helene (1988), para que o diagnóstico completo das patologias seja realizado devem ser analisados todos os aspectos dos problemas. Esses aspectos podem ser divididos em:

- Sintomas: caracterizam a manifestação patológica em si, podem ser identificados visualmente, como trincas, fissuras, eflorescências, deformações ou flechas excessivas, corrosão de armaduras, ninhos de concretagem e manchas.
- Causa: é a razão primária da manifestação patológica, configurando-se na justificativa mais evidente para o seu surgimento. As causas das manifestações patológicas podem ser diversas, como as cargas a que estão sujeitas as estruturas, a variação de umidade e de temperatura, agentes biológicos e atmosféricos, incompatibilidade de materiais, etc.
- Origem: é o ponto de partida da manifestação patológica, esclarecendo a principal razão para seu surgimento, e está intimamente relacionada com as fases do processo de produção. Um diagnóstico adequado deverá identificar em qual etapa o fenômeno patológico teve início. As origens das falhas podem estar relacionadas à fase de projeto, fabricação de materiais, execução da edificação ou uso.
- Mecanismo: toda manifestação patológica advém de um processo (mecanismo) que envolve agentes agressivos externos ou internos à estrutura, sendo crucial a sua identificação, para que se possa contornar o problema.
- Consequências: o comportamento geral de uma estrutura sujeita a manifestações patológicas pode ser afetado, fundamentalmente, de duas maneiras: quando afetam as condições de segurança (estados limites últimos) ou quando envolvem apenas as condições de utilização e funcionamento da construção (estados limites de serviço).



Weimer, Thomas e Dresh (2018) afirmam que as manifestações patológicas costumam aparecer somente após o início da execução das edificações, sendo mais comuns durante a etapa de utilização. Estudos realizados em diversos países mostram que, entre as três etapas básicas do processo construtivo — concepção, execução e utilização —, a maioria das manifestações patológicas têm origem nas fases de concepção (projeto) e de execução (construção).

2.3 Desempenho e vida útil

De acordo com a ABNT NBR 15575-1:2013 (Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais), desempenho pode ser definido como comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. Ela também define vida útil como período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento dos níveis de desempenho previstos na norma, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção.

Para Weimer, Thomas e Dresh (2018), durabilidade e vida útil são termos correlacionados. Sendo a durabilidade a característica relacionada à deterioração dos materiais e elementos estruturais, dependendo do ambiente em que estes estão inseridos. A vida útil, por sua vez, é o tempo em que a edificação apresenta níveis de desempenho satisfatórios para o uso que lhe foi determinado, levando em conta a execução adequada dos procedimentos de manutenção necessários.

2.4 Patologias em estruturas de concreto armado

Conforme afirmado por Bolina, Tutikian e Helene (2019), "As anomalias, deficiências ou 'doenças' que se observam superficialmente nos elementos são chamadas de manifestações patológicas. Uma manifestação patológica é tudo aquilo que se vê, se observa e se apresenta como indicativo de um problema". Os sintomas mais comuns nas estruturas de concreto são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas, a corrosão das armaduras e ninhos de concretagem.

2.4.1 Fissura

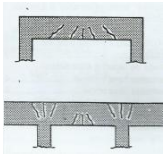
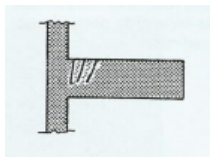
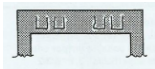
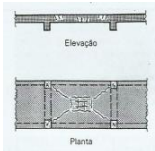
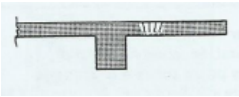
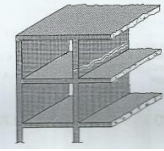
As fissuras são manifestações patológicas em forma de cortes superficiais e podem ser classificadas como microfissuras ou macrofissuras, de acordo com o seu tamanho. Essas fissuras geralmente se manifestam como estreitas e alongadas aberturas na superfície de um material e, em geral, são de natureza leve e superficial (THOMAZ, 1989).

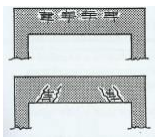
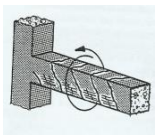
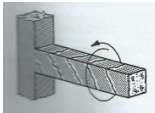
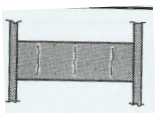
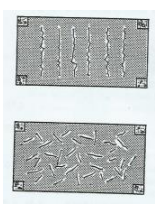
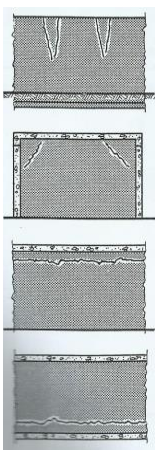
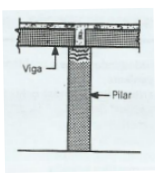
As fissuras comprometem a durabilidade do concreto, pois tornam mais fácil a entrada de substâncias prejudiciais. Além disso, impactam a qualidade acústica da estrutura, sua estética e afetam negativamente a estanqueidade da água (NEVILLE, 2016).

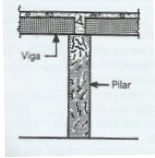
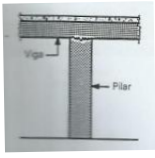
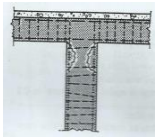
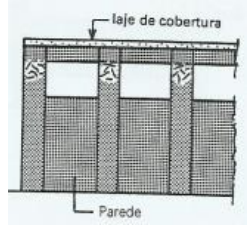
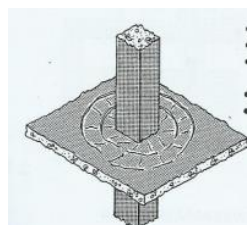
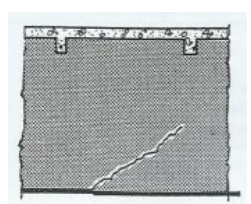
As aberturas podem ser classificadas de acordo com a magnitude (amplitude de abertura). É importante ressaltar que não existe uma definição unânime na literatura sobre as nomenclaturas e amplitudes das aberturas. Thomaz (1989) define fissuras como aquelas com aberturas desde capilares até a ordem de 0,5 mm, trincas como as que possuem aberturas da ordem de 2 mm ou 3 mm, e rachaduras como

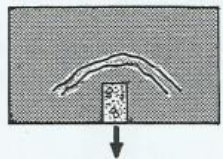
valores superiores a esses. O Quadro 1 apresenta os tipos de fissuras e suas principais causas.

Quadro 1 - Descrição dos principais tipos de fissuras e suas causas.

Tipo de Fissura		Diagnóstico	Exemplo
Flexão (Vigas)	Flexão	-Sobrecarga não prevista -Armadura insuficiente -Ancoragem insuficiente -Armadura mal posicionada no projeto ou na execução.	
	Flexão na parte superior (marquises, balcões)	-Ancoragem insuficiente -Armadura mal posicionada no projeto ou na execução -Sobrecargas não previstas -Armadura insuficiente.	
	Flexão e escorregamento da armadura	-Sobrecargas não previstas -Má aderência da armadura ao concreto -Concreto com resistência inadequada -Ancoragem insuficiente	
Flexão (Lajes)	Flexão	-Armadura insuficiente ou mal posicionada -Comprimento da ancoragem insuficiente -Desforma precoce -Sobrecargas não previstas	
	Flexão em balanço	-Armadura insuficiente ou mal posicionada -Comprimento da ancoragem insuficiente -Desforma precoce -Sobrecargas não previstas	
Flexão (Paredes)		-Laje muito flexível em estruturas executadas pelo processo de fôrmas tipo túnel. -Juntas de concretagem mal executadas -Armadura insuficiente	
Cisalhamento (Vigas)		-Sobrecarga não previstas -Estribos insuficientes -Estribos mal posicionados no projeto ou na execução -Concreto de resistência inadequada	

Tipo de Fissura		Diagnóstico	Exemplo
Esmagamento do concreto (Vigas)	Esmagamento do concreto	-Concreto de resistência inadequada -Sobrecargas não previstas	
	Esmagamento do concreto por torção	-Sobrecargas não previstas -Concreto de resistência inadequada -Seção do concreto insuficiente	
Torção		-Sobrecargas não previstas -Desconsideração de torção de compatibilidade -Armadura insuficiente -Armadura mal posicionada no projeto ou na execução	
Retração Hidráulica ou de movimentação térmica	Vigas	-Secagem prematura do concreto (cura inadequada) -Contração térmica devida a gradientes de temperatura diários ou sazonais.	
	Laje	-Cura ineficiente -Proteção térmica ineficiente -Excesso de calor de hidratação -Excesso de água de amassamento	
	Paredes	-Movimentação térmica da laje de cobertura -Concreto de resistência inadequada -Movimentação térmica e retração hidráulica	
Assentamento plástico (Pilares)		-Concretagem simultânea de pilares, vigas e lajes - Mau adensamento do concreto -Concreto muito fluído	

Tipo de Fissura	Diagnóstico	Exemplo
	-Fôrmas não estanques	
Pega ou falsa pega (Pilares)	-Cimento com excesso de gesso semi-hidratado -Excesso de demora no lançamento do concreto -Calor excessivo e umidade relativa baixa	
Junta de concretagem (Pilares)	-Topo do pilar com excesso de nata de cimento (exsudação) ou sujeira	
Compressão localizada ou flambagem de armaduras (Pilares)	-Má colocação ou insuficiência de estribos -Carga superior à prevista -Concreto de resistência inadequada -Mau adensamento do concreto	
Fissuras ou rupturas no topo de pilares curtos (Pilares)	-As paredes enrijecem os pilares, que não conseguem absorver as movimentações térmicas e hidráulicas da estrutura	
Momentos volventes (Lajes)	-Armadura de canto insuficiente -Proteção térmica insuficiente	
Punção (Lajes)	-Excesso e carga concentrada -Laje muito delgada -Concreto de resistência inadequada -Armadura insuficiente -Armadura mal posicionada no projeto ou na execução	
Recalque (Paredes)	-Recalque das fundações ou dos apoios -Armadura insuficiente -Armadura mal posicionada no projeto ou na execução.	

Tipo de Fissura	Diagnóstico	Exemplo
Tração (Paredes)	-Armadura insuficiente para difusão de cargas concentradas -Armadura mal posicionada no projeto ou na execução	

Fonte: Adaptado de HELENE, 1988.

2.4.2 Infiltração, eflorescência e manchas

Helene e Pereira (2007) destacam que um dos problemas mais ocorrentes no concreto armado são a eflorescência, manchas e infiltrações. Arivabene (2015), afirma que a infiltração ocorre quando a quantidade de água em contato com o substrato é tão grande que, a mesma passa a fluir ou gotejar através desse substrato ocasionando as conhecidas manchas.

Herani (2012), complementa ao definir a infiltração como qualquer evento de passagem ou impregnação de água junto aos poros do concreto, aberturas, falhas ou fissuras. Essa situação pode ser desencadeada por infiltrações provenientes da água de chuva, pela interação das águas subterrâneas com a superfície da estrutura e por eventuais vazamentos de tubulações.

No que diz respeito às eflorescências, Miotto (2010), esclarece que são formações salinas, de coloração normalmente branca, como mostrado na figura 1, que surgem no concreto devido ao acúmulo de solução saturada de hidróxido de cálcio na superfície do concreto trazidas de seu interior pela umidade. Não ocasionam problemas estruturais, apenas afetam a estética da edificação.

Figura 1 - Eflorescência.



Fonte: Sabai (2017).

A presença de manchas é uma mudança indesejada nas propriedades do material, interferindo na sua microestrutura e tendo a possibilidade de comprometer sua integridade ou apenas sua estética, conforme relatado por Silva e Pinheiro (2005).

Montecielo e Elder (2016), definem mofo e bolor como manchas que aparecem devido a proliferação de fungos, algas e bactérias em condições favoráveis, como por exemplo, ambientes úmidos, mal iluminados e mal ventilados, assim como ilustrado na figura 2.

Figura 2 - Mofo e manchas provocadas por insuficiência de ventilação.



Fonte: Montecielo e Edler (2016).

2.4.3 Concreto segregado

De acordo com Arivabene (2015), o concreto é um produto composto por cimento, areia, brita e água, podendo conter algum aditivo, e, quando preparado e lançado corretamente, obtém-se uma mistura homogênea. Ocorrendo algum erro no lançamento ou no adensamento, pode ocorrer a separação da brita com a argamassa (mistura cimento, areia e água), formando um concreto com vazios, tal como ilustrado na figura 3, que permite a passagem de água com facilidade.

Figura 3 - Concreto segregado.



Fonte: Gonçalves, Lima e Martins (2019).

Os nichos de concretagem e segregações no concreto dos pilares possuem ligação direta com problemas na execução e supervisão da concretagem das peças, que podem ocorrer de maneira inadequada, apresentando como causas prováveis: a baixa trabalhabilidade do concreto, insuficiência no transporte, no lançamento e no adensamento do concreto, além de armaduras com alta densidade. (MARTINS; FIORITI, 2016).

2.4.4 Corrosão da armadura

De acordo com Weimer, Thomas e Dresh (2018), a corrosão ocorre devido às reações químicas e eletroquímicas de oxidação. No caso do aço, a corrosão resulta na formação de ferrugem, um material frágil, sem coesão ou aderência, que aumenta

de volume durante sua formação, podendo atingir até 10 vezes o volume original do aço.

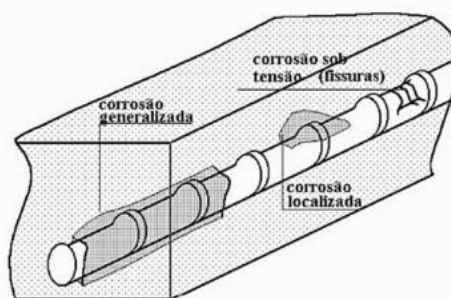
Segundo Souza e Ripper (1998), a degradação das armaduras ocorre quando a camada protetora existente na superfície das barras é comprometida. O pH do meio aquoso existente no interior do concreto é superior a 7 (entre 12.6 e 14), resultando em um pH alcalino. Sempre que o nível de alcalinidade for superior a 9, estará garantida a criação da película passivante.

Ainda de acordo com Souza e Ripper (1998), a geração de corrosão através da destruição da camada de revestimento protetora das barras pode se dar por:

- i) Corrosão por tensão fraturante: os aços são submetidos a esforços mecânicos grandes, e, que em presença de meio agressivo, sofrem fratura frágil, ocasionando perda de condição para a sua utilização;
- ii) Corrosão pela presença de hidrogênio atômico, fragilizando e fraturando o aço;
- iii) Corrosão por pite, que pode ser classificado de duas formas:
 - a. Localizada, onde tem como característica a ação de íons agressivos, cloretos, em especial, sempre que haja a umidade e presença de oxigênio;
 - b. Generalizada, onde o pH do concreto tem valores inferiores a 9, pela ação dissolvente do CO_2 existente no ar, sendo transportado pelos poros e fissuras do concreto sobre o cimento hidratado. É assim que ocorre a carbonatação.

A figura 4 ilustra os tipos de corrosão de uma barra de aço de um elemento de concreto.

Figura 4: Tipos de corrosão de uma barra de aço imersa em meio concreto.



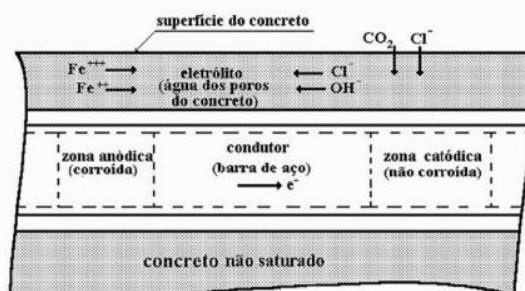
Fonte: Souza e Ripper (1998).

O processo de corrosão do aço das armaduras é sempre um processo eletroquímico, no qual um potencial elétrico surge entre a barra de aço e um eletrólito, que funciona como condutor elétrico e representa o meio aquoso presente no concreto, segundo Weimer, Thomas e Dresh (2018). A diferença de potencial ocorre quando os átomos de ferro da barra de aço entram em contato com o meio aquoso, oxidando-se e convertendo-se em íons de ferro.

Estes íons positivos movem-se em direção aos íons negativos, originando assim uma célula de corrosão no interior do concreto armado. Nesse contexto, a corrente elétrica é gerada pelo fluxo de íons do ânodo para o cátodo através do meio aquoso e do cátodo para o ânodo devido à diferença de potencial, o que resulta na

corrosão das barras de aço, de acordo com Souza e Ripper (1998), como evidenciado na figura 5, abaixo:

Figura 5: Célula de corrosão no meio concreto armado.

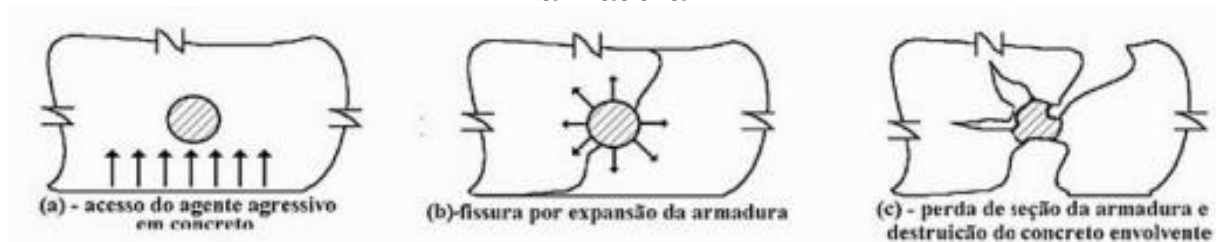


Fonte: Souza e Ripper (1998).

Segundo Weimer, Thomas e Dresh (2018), os íons positivos de ferro (Fe^{++}), quando reagem com os íons negativos da água (OH^-), geram o hidróxido ferroso ($Fe(OH)_2$), possuindo uma coloração amarelada e sendo depositado na parte corroída. Na zona não corroída, é depositado o $Fe(OH)_3$ (Hidróxido de ferro), no qual possui coloração avermelhada. A presença das duas substâncias é um forte indício de corrosão do aço. É importante salientar que a reação que ocorre na zona corroída só continuará acontecendo se o fluxo de elétrons da zona corroída para a não corroída continuar ocorrendo. Para isso, é necessário que haja a presença simultânea de CO_2 e água na superfície não corroída.

Na figura 6, verificam-se as fases da instalação do processo de corrosão em uma barra de armadura:

Figura 6 - Fases da instalação do processo de corrosão em uma barra de armadura.



Fonte: Souza e Ripper (1998).

Weimer, Thomas e Dresh (2018) dizem que a ação dos agentes agressivos ocorre pela presença de cloretos no próprio concreto ou através da entrada de dióxido de carbono da atmosfera. As barras de aço estão presas dentro do concreto, e, ocorrendo a corrosão, a primeira grande consequência é a perda de aderência entre os dois, comprometendo o elemento. A continuidade da corrosão gera a expansão da barra, por meio da ferrugem, gerando desagregação e fissuração do concreto, que pode ser definida como a separação física do concreto.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, com objetivos exploratórios, que teve início através de uma revisão bibliográfica, para seu embasamento teórico, seguida de um estudo de caso.

A metodologia adotada é de natureza qualitativa, conforme indicado por Lakatos e Marconi (2011), pois não prioriza dados numéricos, mas sim a compreensão das características descritivas de um fenômeno específico, uma vez que se baseia em um estudo de caso para avaliar as manifestações patológicas em estruturas de concreto, apresentando dados descritivos em vez de estatísticos.

Conforme abordado por Eisenhardt (1989), o estudo de caso se caracteriza por ser um estudo altamente detalhado e exaustivo, sendo este, de poucos ou muitos objetos (em alguns casos, apenas de um objeto) e fornece aos interessados um conhecimento demasiado deste objeto. Neste trabalho, um estudo de caso foi realizado em uma usina sucroalcooleira localizada no estado de Minas Gerais, com o objetivo de entender as principais manifestações patológicas presentes nesse tipo de construção.

Por motivos de confidencialidade, mais informações sobre a usina e sua localização não foram fornecidas, porém, tal fato não prejudicará o entendimento geral da presente pesquisa.

Para o levantamento de dados na realização deste artigo será utilizada a metodologia proposta por Lichtenstein (1985). Esse é um método amplamente reconhecido para diagnosticar falhas em construções, que se desdobra em três partes distintas:

- **Levantamento de Subsídios:** Nessa fase inicial, são coletadas informações essenciais e abrangentes para um entendimento completo das manifestações patológicas. Essas informações são obtidas através de três abordagens: inspeção no local, investigação do histórico do problema e análise dos resultados (LICHTENSTEIN, 1985).
- **Diagnóstico da Situação:** Segundo Lichtenstein (1985), essa etapa visa compreender as informações encontradas, buscando realizar o diagnóstico por meio de dados conhecidos e estabelecendo conexões de causa e efeito.
- **Definição de Conduta:** Conforme Lichtenstein (1985), esta etapa busca prescrever o trabalho necessário para solucionar o problema, incluindo a especificação dos métodos e a previsão das consequências em relação ao desempenho final, inicialmente propondo um diagnóstico segundo as hipóteses levantadas.

A execução das etapas acima visa a realização de uma abordagem estruturada e eficiente para compreender, diagnosticar e resolver problemas em edifícios com manifestações patológicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

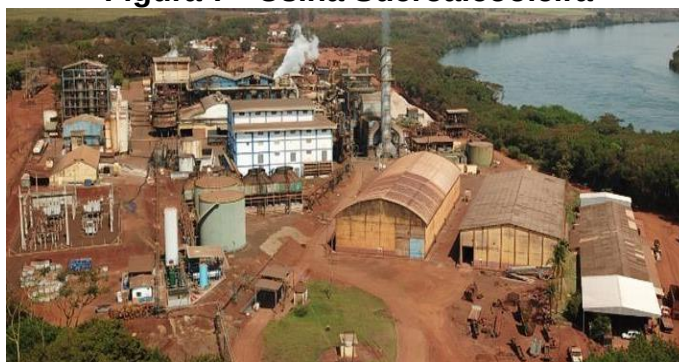
Nesse tópico será apresentado o local da pesquisa, juntamente com levantamento fotográfico das principais manifestações patológicas encontradas no

local, com a indicação de sua localização na edificação, dos fenômenos observados visualmente e das prováveis causas, acompanhadas da descrição do mecanismo de ocorrência de cada patologia.

4.1 Local de pesquisa

O local analisado é uma usina sucroalcooleira localizada na região do triângulo mineiro, tendo como principais produtos o etanol, açúcar cristal e energia, podendo ser observada na figura 7. A usina é composta por diversas edificações construídas em diferentes épocas, sendo assim, o estudo terá como foco a fábrica de açúcar.

Figura 7 - Usina Sucroalcooleira

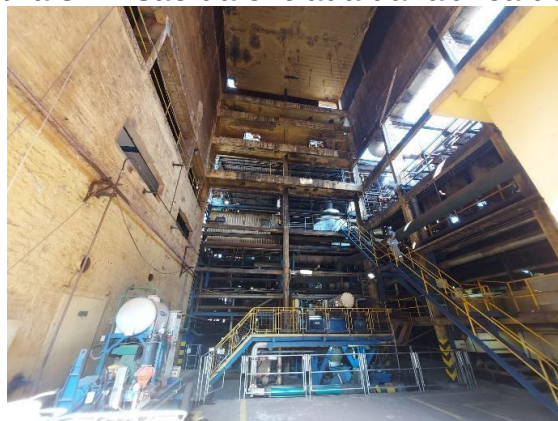


Fonte: Cavalcante (2018).

A fábrica de açúcar, representada na figura 8, é constituída por 7 pavimentos, onde foram empregados dois métodos construtivos distintos. Uma parte da estrutura foi erguida com sistema de estrutura metálica, constituindo a seção construída mais recentemente. A outra parte é composta por estrutura de concreto armado, correspondendo à porção mais antiga do edifício, com cerca de seis décadas desde sua construção, que será o foco deste estudo. Tal fábrica opera, atualmente, 24 horas por dia. A visita à fábrica foi realizada no dia 21 de outubro de 2023, no período da manhã.

A maior parte das manifestações patológicas encontradas nessa construção estão localizadas nas estruturas em concreto armado mais antigas. Devido aos equipamentos utilizados na fabricação o local está sujeito a vibrações, temperaturas elevadas, vapor e resíduos diversos da produção do açúcar.

Figura 8 - Visão da entrada da fábrica de açúcar



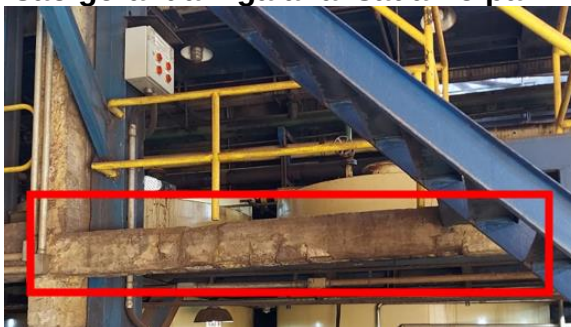
Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Análise das manifestações patológicas encontradas

4.2.1 Corrosão

A presença significativa de corrosão é evidente no local, como pode ser observado nas imagens a seguir. Na figura 9, é apresentada a visão geral de uma viga localizada no primeiro pavimento da fábrica, que apresenta problemas de corrosão em toda sua extensão. Na figura 10, é ilustrado de forma mais detalhada esse problema, assim como nas figuras 11 e 12, onde verificamos outros pontos dessa mesma viga, com corrosão avançada e rompimento dos estribos.

Figura 9 - Visão geral da viga analisada no pavimento térreo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 10 - Visão inferior da viga do pavimento térreo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11 - Detalhe de estribo rompido na armadura.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 12 - Detalhe em viga.



Fonte: Elaborado pelos autores.

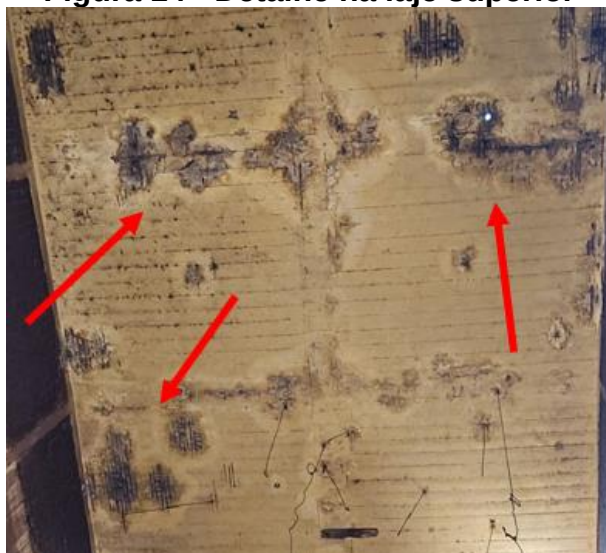
Na figura 13 é apresentado um pilar localizado no pavimento térreo, que apresenta sua armadura totalmente exposta, sem o cobrimento necessário.

Figura 13 - Pilar localizado no pavimento térreo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 14 - Detalhe na laje superior



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 15 - Laje de piso.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 16 - Detalhe da laje.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nas figuras 14, 15 e 16, é recorrente a presença de armaduras expostas e aberturas nas lajes.

De acordo com o método de Helene (1988), as manifestações patológicas de corrosão em armaduras das lajes como as mostradas nas figuras, podem ser ocasionadas pelo cobrimento inadequado ou a utilização de concreto com a resistência incorreta. Pelo fato do local se encontrar em um ambiente com classe de agressividade IV, segundo a ABNT NBR 6118: 2023 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento), o cobrimento esperado para lajes é de 45mm, e para vigas e pilares é de 50mm, sendo que o concreto utilizado deve possuir classe do concreto $\geq$ C40. Dessa forma, é possível que esses valores não tenham sido respeitados e, de acordo com coleta de informações e levantamentos realizados, foi verificado que não houve a realização de manutenção preditiva, facilitando o aparecimento de manifestações patológicas, juntamente com a falta de manutenção corretiva, agravando as manifestações que surgiram.

Para solucionar essas manifestações patológicas, Souza e Ripper (1998) propõe o seguinte método: remover cuidadosamente o concreto afetado e os produtos de corrosão, preparando o substrato corretamente, podendo-se utilizar de jatos de areia para remoção de todas as partículas soltas, removendo o material que possa vir prejudicar a aderência da camada protetora, retirando também das camadas de corrosão que se formam sobre a armadura.

Logo após o preparo do substrato, deve-se realizar a limpeza da superfície antes da aplicação dos materiais de recuperação, podendo ser feita com a utilização de jato de ar comprimido, sendo sempre começado o processo pelas cavidades, passando depois para as superfícies vizinhas, de modo a evitar a deposição de pó no seu interior. Depois de realizada toda a limpeza, reconstituir a seção original da armadura e aplicar argamassa em todas as superfícies, respeitando o cobrimento exigido pela ABNT NBR 6118: 2023, de acordo com o especificado para o local.

4.2.2 Fissuras, trincas e rachaduras

Durante a análise foi verificado a presença de fissuras, trincas e rachaduras em diversos pontos da estrutura. Na figura 17, pode-se observar em detalhes as rachaduras encontradas em um pilar localizado no terceiro pavimento.

Figura 17- Rachaduras apresentadas em pilar do terceiro pavimento



Fonte: Elaborado pelos autores.

O pilar em análise apresenta duas rachaduras, sendo a rachadura A de aproximadamente 0,4 cm (4 mm), e a rachadura B de aproximadamente 0,8 cm (8 mm). Observando o formato das rachaduras, e o aparente local de origem delas, saindo do topo do pilar para o corpo, realizando uma curva, podemos supor que a causa provável, de acordo com Helene (1988), seria a compressão localizada.

Pelo fato de a empresa não possuir documentos sobre o processo de construção do local, nem os materiais utilizados, as informações provenientes dos funcionários são fundamentais para entender as possíveis causas das rachaduras e, de acordo com as informações coletadas durante a pesquisa, a utilização de concreto com resistência inadequada era uma prática comum na construção dos elementos do empreendimento, contribuindo para o aparecimento das manifestações patológicas.

Segundo Helene (1988), para solucionar as rachaduras, deve-se realizar injeção de resina à base de poliéster e microconcreto fluido de alto desempenho. Para tal, deve-se fazer furos com uma broca de 12 mm a cada 30 cm, com 3 cm de profundidade, ao longo da rachadura, e realizar a fixação de tubos plásticos com a resina, limpar a rachadura com água a pressão e secá-la com jato de ar comprimido.

Depois, deve-se fazer o selamento em todo o contorno da rachadura com a resina, e utilizar novamente o jato de ar comprimido para realizar a limpeza e a verificação da comunicação entre os tubos, e a eficiência do selamento. Logo após, injetar o microconcreto, seguindo os furos dos tubos de baixo para cima, e, após o concreto começar a aflorar no tubo adjacente, realizar a vedação do anterior e continuar para o próximo, realizando esse processo sucessivamente até acabar todos os tubos fixados. Após 24 horas, retirar o excesso e reparar as cavidades que possam surgir com a resina.

4.2.3 Segregação de concreto

A segregação mostrou-se presente em alguns pontos do local, em especial nos blocos de fundação das estruturas metálicas.

Figura 18 - Ninhos de concretagem nos blocos de fundação.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nas imagens é visível o acúmulo de agregados nos blocos que compõem as bases dos pilares metálicos, ocasionando ninhos de concretagem. Na figura 18, observa-se uma concentração de agregados graúdos muito grande na região onde há o surgimento de ninhos, e, de acordo com Helene (1988), isso é ocasionado devido a

dosagem inadequada do concreto e utilização de um agregado graúdo com dimensões máximas inadequadas. Unido a esse fato, erros de lançamento e adensamento contribuem para o surgimento dessa manifestação patológica.

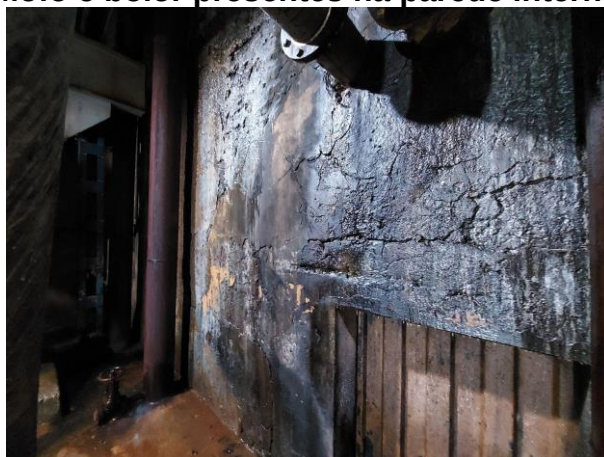
Helene (1988) indica como procedimento adequado para restauração de ninhos de concretagem iniciar pela removendo o concreto segregado até alcançar o concreto são, podendo-se utilizar de discos de corte para delimitar a área no qual será feita a manutenção, e retirar toda a parte com ninho.

Logo após, limpar o local com ar comprimido, retirando todas as impurezas. Realizado isso, aplicar um adesivo epóxi nas formas e colocá-las no local, deixando uma entrada em formato de funil no topo da forma, para que possa ser lançado o microconcreto fluido de alta resistência de forma adequada. Sendo lançado de forma calma e contínua para evitar o surgimento de bolhas. Deve-se concretar até chegar em uma altura de 10cm na boca do funil. Remover as formas após 48h e retirar os excessos, deixando o local faceado com o restante do bloco, realizando a retirada dos excessos de baixo para cima. Depois de retirada as formas, saturar com água durante 14 dias.

4.2.4 Manchas, mofo e bolor.

As manchas causadas pela umidade foram encontradas em alguns setores da fábrica, principalmente na área de produção. A figura 19, ilustra uma parede onde líquidos provenientes da produção são lançados constantemente.

Figura 19- Mofo e bolor presentes na parede interna da fábrica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura 19 é apresentado manchas de mofo em uma parede do interior da fábrica, apresentando coloração em tons escurecidos. O problema parece ter como origem em um fluxo constante de líquidos, que pode ser observado durante a análise do local. Os fluidos provenientes da produção escapam das máquinas da fábrica em direção à parede examinada, resultando na presença constante de umidade na área.

Segundo Montecielo e Elder (2016), para corrigir problemas de mofo, recomenda-se: Lavar a área afetada com escova de aço ou pano e utilizar uma mistura de água sanitária e água potável com a proporção de 1:1, deixando agir por cerca de quatro horas. Após esse período, lavar com água para eliminar resíduos de água sanitária, repetindo o processo novamente se necessário, até a eliminação total do mofo. Além disso, é necessário resolver a fonte do problema de umidade. Isso



pode ser feito através de reparos ou modificações no maquinário, para que não haja fluxo de líquidos naquela região.

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo analisar as manifestações patológicas recorrentes em uma usina de produção de açúcar e álcool. A observação detalhada, aliada à coleta de dados *in loco*, revelou que a ausência de manutenções regulares, somada à utilização intensa do local e possíveis práticas incorretas realizadas durante a execução, como o não seguimento das normas, podem ter contribuído para o processo de desenvolvimento de manifestações patológicas em diversas estruturas, evidenciando-se em estágios avançados de deterioração, sendo frequentes durante a análise, a identificação da ocorrência de corrosão, manchas e rachaduras em pontos diversos da estrutura.

É crucial reconhecer que a produção de pesquisas e estudos voltados para a compreensão e caracterização dos danos em construções desempenha um papel essencial na realização de diagnósticos mais precisos. Além disso, essas análises desempenham um papel fundamental na prevenção de futuras falhas, uma vez que ao identificar a origem dos problemas, torna-se possível implementar medidas preventivas eficazes.

Sendo assim, para minimizar o surgimento dessas patologias deve-se realizar manutenções de forma periódica, além de seguir as recomendações propostas nas normas regulamentadoras durante as fases de elaboração do projeto, execução e uso e ocupação, afim de se obter o desempenho e vida útil esperado para a estrutura.

Dessa forma, aprofundar o entendimento sobre as manifestações patológicas possibilita a conservação e manutenção eficientes de estruturas existentes, e também estabelece bases sólidas para práticas construtivas mais robustas no futuro, mitigando potenciais impactos negativos na durabilidade e desempenho das edificações.

Propõe-se para trabalhos futuros a expansão desta pesquisa, incluindo a análise específica das estruturas metálicas, a aplicação de ensaios destrutivos e não destrutivos para uma avaliação mais abrangente. Estas propostas visam enriquecer ainda mais o campo de estudos, ampliando o conhecimento sobre as manifestações patológicas.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a todos que contribuíram para que esse trabalho fosse realizado. Este projeto não seria possível sem o apoio e a colaboração de muitos indivíduos.

Agradecemos também ao nosso orientador, Harley, pelo empenho e dedicação ao longo do processo de desenvolvimento deste artigo, moldando nossas ideias e nos mostrando o melhor caminho. Agradecemos também as nossas famílias, pelo apoio e suporte, durante esta caminhada.

Aos notáveis professores e profissionais que generosamente compartilharam conosco seu conhecimento e sabedoria durante nossas pesquisas, queremos expressar nossa gratidão, sem vocês essa pesquisa não poderia ter sido realizada.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIVABENE, Antonio Cesar. Patologias em estruturas de concreto armado: Estudo de caso. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, v. 3, n. 10, p. 1-22, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: informação e documentação: projeto de estruturas de concreto: procedimentos**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais - Referências - Elaboração**. Rio de Janeiro, 2013.

BASTOS, Paulo Sérgio. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. Set. 2023. Apresentação de PDF. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>. Acesso em 30 nov. 2023.

BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. **Patologia de estruturas**. 1. ed. [S.l.]: Oficina de Textos, 2019. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 27 nov. 2023.

DA SILVA, A. F. P.; BARROS, H. E. B.; FERREIRA, D. S.; DO NASCIMENTO, L. G.; LIMA, F. Éric G.; BEZERRA, L. de O. **Patologias em estruturas de concreto armado: estudo de caso / Pathologies in reinforced concrete structures: case study**. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 363–374, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-027. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/22539>. Acesso em: 28 nov. 2023.

EISENHARDT, K. M. **Building theories from case study research**. *Academy of Management Review*, v. 14, n. 4, 1989.

HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. 2ª ed. São Paulo: Editora Pini, 1988.

HERANI, Thais da Silva Ambrosio Garcia. **Patologias e tratamentos estruturais no metrô de São Paulo**. Universidade Presbiteriana Mackenzie de São Paulo. Trabalho de conclusão de curso de Pós-graduação em Excelência Construtiva e Anomalias. 2012.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2011.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de**



edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1985.

MARTINS, J. F. A., & FIORITI, C. F. Investigação de manifestações patológicas em sistemas estruturais de concreto armado: Estudo de caso em edificação pública. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, 2016.

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

MONTECIELO, Janaina; EDLER, Marco Antônio Ribeiro. Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. **XXI Seminário Interinstitucional de Ensino**, 2016.

NEVILLE, A. M. **Propriedade dos Concreto**. 5ª Edição. São Paulo, 2016

SILVA, Diêgo Raffael Fernandes da. TELES, Euzébio Cardoso. BARROS, Enicléia Nunes de Sousa. Patologias em estruturas de concreto armado em ambiente industrial. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, Ed. 10, Vol. 06, pp. 14-41. outubro de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/patologias-em-estruturas>.

SILVA, M. R.; PINHEIRO, S. M. de M. Biodeterioração do concreto. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998, 255 p.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em Edifícios**: causas, prevenção e recuperação. São Paulo, Ed. Pini, 1989.

WEIMER, Bianca F.; THOMAS, Maurício; DRESCH, Fernanda. **Patologia das estruturas**. Grupo A, 2018. *E-book*. ISBN 9788595023970. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595023970/>. Acesso em: 27 nov. 2023.

Ata da defesa de trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil

Às 17:00 horas do dia 07 do mês de dezembro de 2023, reuniu-se para a defesa pública *online*, por meio da plataforma Teams, junto ao Centro Universitário UNA, a Banca Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado **Análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: um estudo de caso em uma usina sucroalcooleira no estado de Minas Gerais**, escrito pelos alunos **Bruno Leal Valente Souza** e **Maria Eduarda Oliveira de Paula**, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Abrindo a sessão, o Presidente da Banca, Professor orientador Harley Francisco Viana após dar conhecimento aos presentes do procedimento de defesa, passou a palavra aos alunos para apresentação oral do trabalho. Após a apresentação do trabalho, os alunos foram arguidos pelos membros da banca. Em seguida, a Banca Examinadora reuniu-se, sem a presença dos alunos e do público, para julgamento e expedição do resultado final. A banca examinadora atribuiu as seguintes notas:

	Trabalho escrito (100)	Apresentação Oral (100)
Notas	92,5	95
Média Aritmética	94	

Os alunos foram considerados **APROVADOS** com **Nota Final 94**, sendo esse resultado final comunicado publicamente pelo Presidente da Banca Examinadora.

A publicação do conceito final fica condicionada a postagem de uma cópia definitiva da versão digital do trabalho em pdf (incluir a folha de assinaturas assinada) no RUNA, com todas as correções solicitadas pela banca, bem como da autorização para publicação do trabalho pelo Centro Universitário Una (termo de cessão de direitos).

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Banca Examinadora.

Documento assinado digitalmente
 **HARLEY FRANCISCO VIANA**
Data: 08/12/2023 10:58:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Harley Francisco Viana
Prof. Orientador

Documento assinado digitalmente
 **ERNESTO SILVA FORTES**
Data: 08/12/2023 11:09:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ernesto Silva Fortes
Examinador 1

Documento assinado digitalmente
 **THALITA CARDOSO DIAS**
Data: 08/12/2023 15:47:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Thalita Cardoso Dias
Examinador 2

Itumbiara, 07 de dezembro de 2023.

