

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

THAÍS ROZA CONZATTI DE PAOLI

**INSPEÇÃO DE FACHADA EM CONCRETO PRÉ-FABRICADO E ANÁLISE DOS
DANOS PATOLÓGICOS EM EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL**

SÃO LEOPOLDO
2022

THAÍS ROZA CONZATTI DE PAOLI

**INSPEÇÃO DE FACHADA EM CONCRETO PRÉ-FABRICADO E ANÁLISE DOS
DANOS PATOLÓGICOS EM EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientadora: Prof.^a Dra. Fernanda Pacheco

São Leopoldo

2022

Dedico este trabalho ao meu pai e minha mãe, que sempre estiveram presentes com todo suporte e atenção que precisei.

AGRADECIMENTOS

Sou muita grata por ter tantas pessoas ao meu redor que me incentivaram e apoiaram a chegar ao final da graduação. Crescemos juntamente com outras pessoas e deixo aqui meu agradecimento e admiração a algumas que foram fundamentais para esta conquista.

Em primeiro lugar, agradeço as pessoas mais importantes da minha vida, meu pai Júlio, minha mãe Vera e meu irmão Giovani, por me ajudarem a realizar meus objetivos e estarem comigo dia a dia sem medirem esforços para me verem bem, por todo apoio, incentivo, amor, compreensão, por sempre acreditarem no meu sucesso, por estarem presentes em todos os momentos, compartilhando alegrias e tristezas e entenderem as ausências necessárias em alguns períodos.

Aos que colaboraram diretamente com a realização do trabalho: Renan que se disponibilizou a revisar todo texto e meu pai e meu tio Rui que auxiliaram na realização dos ensaios.

A todos familiares que estiveram presentes durante esses anos, em especial as minhas dindas Fabiana e Luciana por sempre me auxiliarem na vida pessoal e profissional.

Aos amigos antigos, àqueles que encontrei durante a graduação e aos colegas de trabalho, que apoiaram e torceram por mim. Sou grata a todos que estiveram comigo nesta fase, seja ensinando, colaborando, divertindo, deixando os dias mais leves e sobretudo dividindo os momentos de aflição.

À empresa Tramontina Farroupilha S/A Indústria Metalúrgica, em especial ao Engenheiro Civil Felipe Mente, por toda assistência e disponibilidade para realização do meu trabalho.

A minha orientadora, professora Dra. Fernanda Pacheco, por todos os conhecimentos compartilhados, por cobrar e motivar, por acreditar em mim, sempre com muita paciência e alegria, por ser um exemplo de pessoa e de profissional. A todos os professores que fizeram parte desta trajetória, por sempre estarem dispostos a ensinar. As experiências colhidas de vocês serão essenciais para vida.

“Tão importante quanto aprender é colocar em prática o que você aprendeu.”
(Caio Carneiro)

RESUMO

Estruturas de concreto armado sofrem deteriorações ao longo do tempo, que são influenciadas por suas características de composição, assim como, pelo seu ambiente de exposição. Acompanhar e avaliar o desenvolvimento de tais danos, que podem ser desencadeados por diversos fatores, é de suma importância para garantia da segurança dos usuários e do bem-estar. Além disso, o monitoramento das estruturas assegurará seu uso por mais tempo, conforme a vida útil prevista em projeto. Além dos materiais e da execução da construção, aspectos arquitetônicos e projetos bem elaborados são essenciais para evitar manifestações patológicas, assim como a realização de manutenções. Esse trabalho versa sobre um dos ambientes de exposição previstos na norma NBR 6118 (ABNT, 2014), neste caso a indústria, local com grande incidência de agentes agressivos. Na indústria abrangida nesse estudo de caso, buscou-se analisar, através de um processo de inspeção, quais os danos atuantes nas fachadas de uma estrutura de concreto pré-fabricado localizada na cidade de Farroupilha – RS. Além da inspeção, foi realizado ensaio de profundidade de frente de carbonatação e de detecção de barras com o uso de pacômetro, a fim de complementar a análise referente a durabilidade, bem como classificar os danos e definir possíveis medidas de profilaxia. As manifestações patológicas encontradas foram fissuras, manchas de umidade, eflorescência, mofo e desgaste do concreto. Não foi identificada carbonatação na estrutura, visto que a edificação ainda tem poucos anos de uso e a estrutura é de concreto pré-fabricado, possuindo maior controle de qualidade durante sua produção. Além disso, o cobrimento verificado foi de 25 mm em média. Constatou-se que os danos mais severos foram decorrentes da umidade e da incidência solar. A partir da análise realizada, destaca-se a importância do atendimento aos requisitos de durabilidade e a realização de manutenções para prolongar a vida útil das construções.

Palavras-chave: inspeção; manifestações patológicas; concreto; desempenho; fachadas; projetos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desempenho ao longo do tempo	14
Figura 2 – Modelo de corrosão de Tuutti.....	24
Figura 3 – Agentes de degradação	29
Figura 4 – Esquema da Patologia das Construções	32
Figura 5 – Lei de Sitter	52
Figura 6 – Fluxograma do programa experimental.....	54
Figura 7 – Localização do edifício	55
Figura 8 – Planta de situação.....	55
Figura 9 – Planta de localização do varejo.....	56
Figura 10 – Gráfico de temperaturas médias e precipitação	57
Figura 11 – Fachadas do edifício	59
Figura 12 – Pontos de ensaio (Norte)	61
Figura 13 – Pontos de ensaios (Leste).....	61
Figura 14 – Pontos de ensaio (Sul)	61
Figura 15 – Pacômetro utilizado.....	62
Figura 16 – Procedimento com detector de barras	62
Figura 17 – Procedimento de extração das amostras	63
Figura 18 – Identificação das amostras.....	64
Figura 19 – Manifestações Patológicas (Norte).....	66
Figura 20 – Manifestações Patológicas (Sul)	68
Figura 21 – Manifestações Patológicas (Leste).....	70
Figura 22 – Limpeza da fachada	77
Figura 23 – Juntas de dilatação	77
Figura 24 – Processo de troca das juntas	78
Figura 25 – Após troca das juntas.....	79
Figura 26 – Edificação após pintura	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cobrimentos definidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014).....	18
Tabela 2 – Incumbências e Responsabilidades conforme NBR 15575 (ABNT, 2021)	19
Tabela 3 - Níveis de Vida Útil de Projeto.....	22
Tabela 4 - VUP de partes da edificação.....	22
Tabela 5 - Classes de Agressividade Ambiental.....	25
Tabela 6 - Causas das variações dimensionais.....	34
Tabela 7 - Principais fatores que condicionam a velocidade de carbonatação.....	38
Tabela 8 – Termos da patologia.....	39
Tabela 9 – Principais normas utilizadas.....	40
Tabela 10 – Hipóteses de classificação da estrutura e respectivos cobrimentos.....	72
Tabela 11 – Cobrimentos encontrados (mm).....	73
Tabela 12 - Carbonatação.....	74
Tabela 13 – Catalogação dos danos.....	81

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
ACM	<i>Aluminium Composite Material</i>
APO	Avaliação Pós Ocupação
CAA	Classe de Agressividade Ambiental
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
ph	Potencial Hidrogeniônico
PU	Poliuretano
VU	Vida Útil
VUP	Vida Útil de Projeto

2KOH	Hidróxido de Potássio
C ₂₀ H ₁₄ O ₄	Fenolftaleína
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
CO ₂	Dióxido de Carbono
K ₂ CO ₃	Carbonato de Potássio
Mg(OH) ₂	Hidróxido de Magnésio
Na ₂ CO ₃	Carbonato de Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 JUSTIFICATIVA	13
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	16
2.2 DURABILIDADE DAS EDIFICAÇÕES	18
2.2.1 Vida Útil	21
2.2.2 Classes de agressividade ambiental (CAA)	24
2.2.2.1 Área industrial	25
2.3 CARACTERÍSTICAS, PROJETO E DETALHES DAS FACHADAS	26
2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	30
2.4.1 Fissuras	32
2.4.2 Danos decorrentes da umidade	34
2.4.3 Deterioração do concreto	36
2.4.4 Corrosão das armaduras	36
2.5 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DA ESTRUTURA	38
2.5.1 Normas técnicas	40
2.5.2 Inspeção	41
2.5.3 Ensaios complementares	46
2.5.3.1 Detecção de barras	47
2.5.3.2 Profundidade de carbonatação	48
2.6 MANUTENÇÃO	49
3 METODOLOGIA	54
3.1 ANAMNESE	56
3.1.1 Características do local	57
3.1.2 Histórico da edificação	57
3.1.3 Análise de projetos e características da edificação	58
3.2 INSPEÇÃO.....	59

3.2.1 Inspeção visual.....	60
3.2.2 Ensaios.....	60
3.2.2.1 Detecção de barras	61
3.2.2.2 Verificação de frente de carbonatação com fenolftaleína.....	63
3.3 MANUTENÇÕES REALIZADAS NA FACHADA	64
3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS	65
3.5 PROFILAXIA	65
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
4.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	66
4.1.1 Fachada Norte	66
4.1.2 Fachada Sul	68
4.1.3 Fachada Leste	70
4.2 VERIFICAÇÃO DO COBRIMENTO	72
4.3 VERIFICAÇÃO DE FRENTE DE CARBONATAÇÃO	74
4.4 ANÁLISE DAS MANUTENÇÕES JÁ REALIZADAS.....	75
4.5 CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS	80
4.6 MEDIDAS DE PROFILAXIA.....	84
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS.....	89
APÊNDICE A - FOTOS DO ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DE CARBONATAÇÃO ..	95

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil há anos, devido a seus inúmeros benefícios, evoluindo suas propriedades de acordo com as necessidades (NEVILLE, 2016; TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011). Os níveis de degradação aumentaram nos últimos tempos devido ao aumento da exposição das estruturas a ambientes mais agressivos, variando a intensidade de deterioração em função da exposição e tipo de material. Com isso, os danos afetam a durabilidade das edificações, estética, segurança e utilização, ampliando a necessidade de manutenções constantes, controle no momento de projeto e execução e na escolha de materiais de qualidade (HAVLÁSEK et al., 2017). A durabilidade e vida útil das edificações são de fundamental importância para garantir estruturas seguras e funcionais, além de sustentáveis (TANG et. al 2015; VARLAMOV; SHAPOVALOV; GAVRILOV, 2017).

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) define as classes de agressividade ambiental (CAA) em que a estrutura de concreto está exposta, relacionando com ações físicas e químicas atuantes, além de classificar os agentes degradantes do concreto e da armadura. É essencial analisar o comportamento dos materiais e métodos empregados para evitar degradação prematura da estrutura, assim como especificar materiais de acordo com a classe de agressividade ambiental, visando atender a vida útil de projeto. O período e o local de exposição da estrutura devem ser levados em conta na análise das manifestações patológicas, já que interferem no seu desempenho (MEHTA; MONTEIRO, 2014; GJØRV, 2014).

A prática de manutenções nas indústrias é de fundamental importância por se tratar de uma zona em classe de agressividade ambiental forte ou muito forte, o que representa grande risco de deterioração da estrutura por estar exposta a diferentes fatores de degradação, podendo impactar diretamente nos custos e processos produtivos da empresa (POSSAN; DEMOLINER, 2013). Conforme a norma NBR 5674 (ABNT, 2012), manutenções são essenciais e obrigatórias nas edificações, já que são suportes direta ou indiretamente para todas as atividades produtivas, devendo apresentar condições adequadas ao uso.

A NBR 15575 (ABNT, 2021) define desempenho como sendo o comportamento durante o uso de uma edificação e seus sistemas, relacionado com as manutenções realizadas. Por mais que a norma se destine a edificações habitacionais, seu conceito

é ampliado para todas as edificações. A vida útil e o desempenho da edificação podem ser prolongados com manutenções, que devem ser previstas em projeto. Compreender os mecanismos que geram as manifestações patológicas em estruturas é a forma mais adequada para prevenção destas, uma vez que podem ser desencadeadas por um conjunto de fatores (TECHNE, 2012).

Inspeções e manutenções nas estruturas devem ser realizadas periodicamente para identificar mecanismos de degradação que podem estar comprometendo o desempenho, a vida útil ou até a perda da estabilidade da estrutura (REGINATO et al., 2020). A inspeção visa auxiliar na gestão de uso, operação e manutenção da edificação, a fim de mitigar problemas técnicos e econômicos devido a perda de durabilidade. Com sua realização, é possível verificar o atual estado de conservação e funcionamento da estrutura para manter as condições mínimas necessárias. As normas NBR 16230 (ABNT, 2013) e NBR 16747 (ABNT, 2020) especificam requisitos e procedimentos para realizar inspeções prediais.

Considerando o que foi apresentado, o objetivo do trabalho realizado é identificar quais as manifestações patológicas presentes nas fachadas de concreto pré-fabricado em ambiente industrial, por meio de uma inspeção visual, envolvendo análise de projetos, anamnese e pesquisas bibliográficas. O estudo foi desenvolvido a partir de vistorias, relatório fotográfico, conversa com responsáveis pela manutenção das estruturas e realização de ensaios complementares. Com a realização da inspeção, é possível conhecer o real estado de conservação da edificação e definir possíveis medidas de profilaxia para prolongar a vida útil da estrutura. Além disso, foram avaliadas as manutenções já realizadas na estrutura.

1.1 TEMA

O tema do presente trabalho é a ocorrência de manifestações patológicas, diagnosticadas através de inspeção, e suas principais causas nas fachadas em estrutura pré-fabricada de concreto de uma edificação industrial, local exposto a diferentes mecanismos de degradação. Foram realizados ensaios de frente carbonatação e detecção de barras com base na necessidade analisada, para assim ter um melhor diagnóstico das condições atuais da estrutura.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho foi desenvolvido de forma a atender os seguintes objetivos geral e específicos:

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é identificar quais as manifestações patológicas presentes nas fachadas de estrutura pré-fabricada de concreto protendido, por meio de uma inspeção no varejo da empresa Tramontina, na cidade de Farroupilha - RS, com ensaios não destrutivos, análise visual e pesquisas bibliográficas.

1.2.2 Objetivos específicos

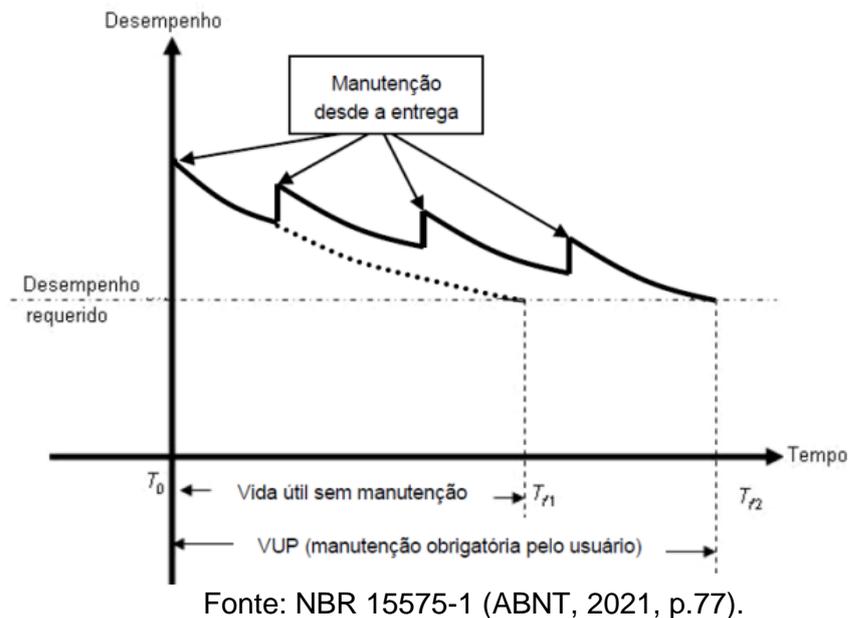
Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a) identificar as manifestações patológicas presentes na edificação analisada através de inspeção, bem como possíveis causas, origem e impacto;
- b) verificação de frente de carbonatação no concreto;
- c) verificação do cobrimento através do ensaio de detecção de barras na estrutura para avaliação da durabilidade;
- d) análise das manutenções já realizadas;
- e) definição de possíveis medidas de profilaxia para prolongar a vida útil da estrutura;
- f) classificar e hierarquizar os danos baseado na necessidade de intervenção.

1.3 JUSTIFICATIVA

Como o concreto é o material mais utilizado na construção civil, é necessário ter conhecimento das manifestações patológicas que podem interferir nas estruturas, diminuindo sua durabilidade. A norma NBR 15575 (ABNT, 2021) apresenta os requisitos necessários para o desempenho das edificações, destacando a importância de manutenções para prolongar a vida útil da estrutura. A Figura 1 demonstra como o desempenho se comporta ao longo do tempo, realizando as manutenções conforme previstas em projeto.

Figura 1 - Desempenho ao longo do tempo



Ao longo do tempo, as construções aumentaram os níveis de degradação devido ao aumento da exposição das estruturas a ambientes mais agressivos. Com isso, os danos afetam a durabilidade e segurança das edificações, ampliando a necessidade de manutenções constantes, além do controle no momento de projeto e execução (HELENE, 2013).

As fachadas são as regiões mais expostas da estrutura, ficando diretamente em contato com os poluentes do ambiente e água. A fim de aumentar a durabilidade e longevidade dessas estruturas, bem como minimizar ou postergar reações deletérias, deve-se pensar em projetos e detalhes arquitetônicos que reduzem ou minimizem esse contato, associando ainda com planos de manutenção preventiva e corretiva (BRITZ C. *et al*, 2017).

Compreender os mecanismos que desencadeiam as manifestações patológicas é fundamental para prevenção destas, assim garantindo maior integridade e durabilidade nas estruturas, além de determinar as corretas medidas a serem adotadas (SOUZA; RIPPER, 2009). A avaliação das estruturas pode ser feita com inspeções e ensaios para identificar os fatores de deterioração da edificação.

1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

O trabalho foi desenvolvido ao longo de cinco capítulos, sendo:

- a) capítulo 1: introdução ao tema da pesquisa, apresentação da justificativa e dos objetivos, geral e específicos, que este estudo buscou atingir;
- b) capítulo 2: revisão bibliográfica de assuntos relacionados a pesquisa;
- c) capítulo 3: apresentação da metodologia utilizada na pesquisa, com a descrição dos ensaios e procedimentos que foram utilizados;
- d) capítulo 4: apresentação dos resultados obtidos, juntamente com a análise e relação com a bibliografia estudada;
- e) capítulo 5: apresentação das considerações finais e dos resultados obtidos na pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO

O concreto é o material mais utilizado na construção de edificações há anos e com o avanço das técnicas e pesquisas da área, sua produção foi sendo aprimorada. Sua composição vai desde a básica, sendo composto por aglomerante (cimento), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água, até a utilização de materiais especiais, como exemplo a adição de cinza volante, pozolana, sílica ativa, metacaulim, pigmentos, fibras, agregados especiais, aditivos, entre outros. Sua execução também foi evoluindo ao longo do tempo para satisfazer determinadas propriedades, como relação água/cimento, fck, consumo de cimento, trabalhabilidade, cobrimento (SILVA, 2011; TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011; BASTOS, 2019).

Dentre suas propriedades, a resistência à água e a plasticidade no estado fresco são as principais, por proporcionar uma maior durabilidade e possibilitar a execução de estruturas para variados locais e funções, moldado de diversas formas. As características do concreto, assim como sua execução, dependem da qualidade dos materiais utilizados, influenciando diretamente no seu desempenho (MEHTA; MONTEIRO, 2014; ISAIA, 2007).

Como o concreto convencional apresenta um bom comportamento à compressão, porém baixa resistência à tração, utiliza-se o aço; solução mundialmente empregada devido suas inúmeras vantagens, além de disponibilidade dos materiais e facilidade de execução (CLIMACO, 2008, NEVILLE, 2016).

O concreto protendido tem parte das armaduras previamente alongadas com equipamentos especiais, aliando concretos e aços de resistências mais elevadas em comparação ao concreto armado, possibilitando eliminar ou diminuir as tensões de tração e a fissuração, conseqüentemente gerando peças mais rígidas e com flechas menores conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014). Tal comportamento proporciona às peças vantagens técnicas e econômicas, possibilitando a utilização de vãos grandes. O emprego de concretos de resistências elevadas e com melhor controle de qualidade, diminui o custo de manutenção das estruturas protendidas, sejam pré-fabricadas ou moldadas no local, além de aumentar a vida útil das edificações (BASTOS, 2019).

Devido às diversas mudanças ocorridas ao longo do tempo, no que se refere aos ambientes de exposição e novas tecnologias, os projetos passaram a avaliar aspectos além da resistência, devendo ser considerados a durabilidade e seu desempenho durante o uso, assim como a estimativa de vida útil para atender tais demandas. Os custos e a sustentabilidade das estruturas também são fatores a serem considerados para definição das soluções a serem adotadas, visando funcionalidade, bem como a compatibilização com os demais projetos. A durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto, assim como da espessura e qualidade do revestimento da armadura.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que, durante a vida útil, as estruturas de concreto, quando projetadas e construídas de acordo com as condições ambientais da época e quando utilizadas conforme previsto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço. Assim, tem-se como algumas das propriedades essenciais para os materiais das construções a resistência, trabalhabilidade, durabilidade e baixo custo (TANG, 2004; BASTOS, 2019).

Uma das alternativas construtivas que vem ganhando espaço no mercado da construção civil são os concretos pré-fabricados. A necessidade e procura por obras sustentáveis exige cada vez mais métodos alternativos para se alcançar uma construção mais econômica e racional, razão pela qual a pré-moldagem e pré-fabricação do concreto são possíveis soluções. Tal alternativa evita o desperdício de materiais, podendo ser executada de forma mais rápida, econômica e sustentável, além de ter maior controle de qualidade no canteiro de obra e dos materiais (OLIVEIRA; 2015).

A NBR 9062 (ABNT, 2017) estabelece os processos e requisitos necessários para o projeto e execução de pré-moldados e pré-fabricados. Além disso, a norma define que um elemento pré-moldado é previamente moldado, já os elementos pré-fabricados são executados industrialmente, em um ambiente próprio para isto e com controle de qualidade do processo. Associa-se a essa diretriz, a NBR 6118 (ABNT, 2014), que estabelece as regras e processos de cálculo dos projetos e execução em concreto armado.

De acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2017), para concretos pré-fabricados o revestimento dos elementos deve ser definido em projeto de acordo com a classe de agressividade prevista, através de ensaios comprobatórios de desempenho da durabilidade do concreto. Caso não possua o ensaio, se o concreto possuir $f_{ck} \geq 40$

MPa e relação água/cimento $\leq 0,45$, os cobrimentos são definidos conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), com tolerância de execução de 5mm, desde que não menores que 25 mm para peças em concreto protendido. A Tabela 1 apresenta os cobrimentos nominais de acordo com a classe de agressividade ambiental (CAA) estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 1 – Cobrimentos definidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo		30	40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p.20).

As classes de agressividade ambiental citadas na tabela são apresentadas no capítulo 2.2.2 desse estudo.

2.2 DURABILIDADE DAS EDIFICAÇÕES

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021), durabilidade é a capacidade da edificação e seus sistemas de desempenhar suas funções durante a vida útil, sob as condições de uso e manutenção estabelecidas em projeto. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas para conservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço, nas condições ambientais previstas na época do projeto e, quando utilizadas conforme preconizado em projeto, durante o prazo correspondente à sua vida útil. Alguns critérios de desempenho devem ser estabelecidos, como habitabilidade, sustentabilidade, segurança, construtibilidade e adaptabilidade.

Helene (2001) define a durabilidade como a relação entre a estrutura de concreto com o ambiente em que está inserida, suas condições de uso, operação e manutenção durante sua vida útil. Está relacionada com o desempenho dos materiais em determinada condição ambiental (BALTAZAR et al, 2007; MORENO et al, 2009). De acordo com a ISO 19208 (2016), a performance das construções pode ser

categorizada quanto à reação a agentes, influência nas atividades humanas, impacto na sociedade e mudanças na performance ao decorrer do tempo.

As características e a qualidade do concreto, como relação água/cimento, resistência, cura, tipo de cimento, adições e aditivos, classe de agressividade ambiental (CAA), cobrimento da armadura, são fundamentais para a durabilidade das estruturas, destacando-se que a degradação pode ocorrer por falhas humanas, na elaboração de projetos e execução das obras, mas também por causas naturais, quando há interação entre a estrutura e o ambiente (HELENE, 2013; PACHECO, 2016).

A criação da norma NBR 15575 (ABNT, 2021), em 2013, buscou melhoria para as condições de durabilidade e manutenção da vida útil das edificações, abordando os sistemas que compõe a edificação: estrutura, pisos, vedação interna e externa, coberturas e instalações hidrossanitárias. A norma define critérios de desempenho mínimo, intermediário e superior. Consta também a divisão de responsabilidades entre os diversos intervenientes, sendo eles: incorporador, projetista, construtor, fornecedor e usuário; bem como as fases do empreendimento: definição do produto, projeto, construção e uso, operação e manutenção. Cada fase possui definições e afazeres a serem realizados por seus referidos responsáveis. Na Tabela 2 está apresentado um resumo das responsabilidades de cada interveniente, mostrando que, para atingir o desempenho requerido, todos os envolvidos devem desenvolver corretamente seu papel.

Tabela 2 – Incumbências e Responsabilidades conforme NBR 15575 (ABNT, 2021)

(continua)

Intervenientes	Responsabilidades
Fornecedores de insumos, materiais, componentes e/ou sistemas	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar o desempenho de acordo com a NBR 15575 (2021) e fornecer produtos que atendam a VUP mínima. - Informar em documento as recomendações para manutenção corretiva e preventiva necessárias para atender a VUP.
Projetistas	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecer o desempenho da edificação, a VUP e demais diretrizes. - Especificar materiais, produtos e processos para atender o desempenho requerido, com base em normas vigentes e com base no desempenho declarado pelo fabricante dos produtos empregados no projeto.
Incorporador	<ul style="list-style-type: none"> - Juntamente com os projetistas, identificar possíveis riscos, arcando com ensaios e informações para realizar um projeto de acordo com o uso pretendido.

(conclusão)

Intervenientes	Responsabilidades
Construtor	<ul style="list-style-type: none"> - Executar fielmente o projeto, seguindo as normas vigentes. - Elaborar e disponibilizar ao proprietário o manual de uso, operação e manutenção atendendo a NBR 14037 (2011) e NBR 5674 (2012).
Usuário	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar as ações de manutenção necessárias conforme indicado pela empresa construtora - Utilizar corretamente o edifício, não fazendo alterações do uso sem análise técnica.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2021) não estabelece quais os materiais a utilizar, mas sim, os requisitos a serem atendidos. Portanto deve-se analisar as possibilidades disponíveis no mercado baseado nos critérios a serem atendidos. Ainda, pela mesma norma, busca-se analisar o comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos, visando atender às necessidades dos usuários.

O desempenho pode ser definido como o comportamento da estrutura durante o seu uso. Conforme estudos de Cunha et al., (2019), o aumento dos níveis de desempenho da estrutura impacta significativamente no consumo de materiais, conforme aumenta a CAA. Por outro lado, deve-se analisar o custo-benefício do sistema, já que a vida útil de projeto (VUP) poderá aumentar, visto que se utiliza concretos de maiores resistências e com maior cobrimento, havendo a possibilidade de espaçar os períodos de manutenção. Por isso destaca-se a importância da correta escolha do nível de desempenho, impactando diretamente nos custos da construção.

O projeto, a execução, a escolha dos materiais, a caracterização do ambiente de exposição e as previsões de manutenção e reparo são fundamentais para garantir durabilidade de uma estrutura ou componente, e conseqüentemente, sua vida útil. Deve-se considerar os mecanismos de envelhecimento e deterioração da estrutura relativos aos materiais para previsão de manutenções.

Para realizar o projeto pensando em durabilidade, deve-se considerar os agentes externos do ambiente de inserção (TUTIKIAN; HELENE; 2011). Em relação aos fatores externos, alguns exemplos que podem ser citados são a velocidade e direção do vento, a posição solar, a umidade relativa do ar, a frequência e quantidade de chuvas na região e a temperatura do ambiente.

A durabilidade das estruturas de concreto requer colaboração de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização, devendo seguir o que estabelece a NBR 12655 (ABNT, 2015) para o preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto, além de atender as disposições com relação às condições de uso, inspeção e manutenção.

A norma NBR 15575 (ABNT, 2021) considera três conceitos, sendo eles: o efeito que uma falha no desempenho acarreta, o nível de facilidade de manutenção e reparação em caso de falha no desempenho e o custo de correção da falha. Os efeitos das falhas no desempenho das edificações descritos pela norma podem ser classificados como: perigo a vida, risco de ser ferido, perigo à saúde, interrupção do uso do edifício, comprometer a segurança de uso ou sem problemas excepcionais.

2.2.1 Vida Útil

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021), vida útil (VU) é o período em que a edificação pode ser utilizada adequadamente com condições satisfatórias de segurança, higiene e saúde, cumprindo com as manutenções especificadas, além de manutenções preventivas e corretivas necessárias. Ou seja, o período entre o início de operação e uso de uma edificação até o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário. Também definida pela mesma norma, vida útil de projeto (VUP) é o período em que o projetista estabelece para atender os requisitos de desempenho. A VUP é uma estimativa teórica, onde o tempo de VU pode ou não ser atendido, dependendo da eficiência, manutenções, alterações no entorno, fatores climáticos, entre outros.

Ainda segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021), alguns aspectos são necessários para atingir a VUP mínima, sendo eles:

- Utilização de componentes e materiais de qualidade comprovada e compatível com a VUP;
- Execução com técnicas e métodos que possibilitem a obtenção da VUP;
- Cumprimento em sua totalidade dos programas de manutenção corretiva e preventiva prescritos no manual de operação da edificação;
- Atendimento aos cuidados preestabelecidos para se fazer uso correto do edifício;
- Utilização do edifício em concordância ao que foi previsto em projeto.

A VUP pode ser definida para atender a três níveis de desempenho: um Mínimo (M); um Intermediário (I); e, um superior (S), sendo o primeiro obrigatório. A Tabela 3 mostra a VUP mínima conforme o nível escolhido.

Tabela 3 - Níveis de Vida Útil de Projeto

Sistema	VUP (anos)		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30

*Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2021, p.81).

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), o conceito de vida útil refere-se à construção como um todo ou às suas partes, onde determinados componentes das estruturas podem necessitar de um valor de vida útil diferente do todo, conforme exemplos da Tabela 4:

Tabela 4 - VUP de partes da edificação

(continua)

Parte da edificação	Exemplos	VUP (anos)		
		Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura principal	- Fundações, elementos estruturais (pilares, vigas, lajes e outros), paredes estruturais, estruturas periféricas, contenções e arrimos	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Estruturas auxiliares	- Muros divisórios, estrutura de escadas externas	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Vedação externa	- Paredes de vedação externas, painéis de fachada, fachadas-cortina	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Cobertura	- Estrutura de cobertura e coletores de águas pluviais embutidos	≥ 20	≥ 25	≥ 30
	- Telhamento	≥ 13	≥ 17	≥ 20
	- Calhas de beiral e coletores de águas pluviais aparentes, subcoberturas facilmente substituíveis	≥ 4	≥ 5	≥ 6
	- Rufos, calhas internas e demais complementos (de ventilação, iluminação, vedação)	≥ 8	≥ 10	≥ 12

(conclusão)

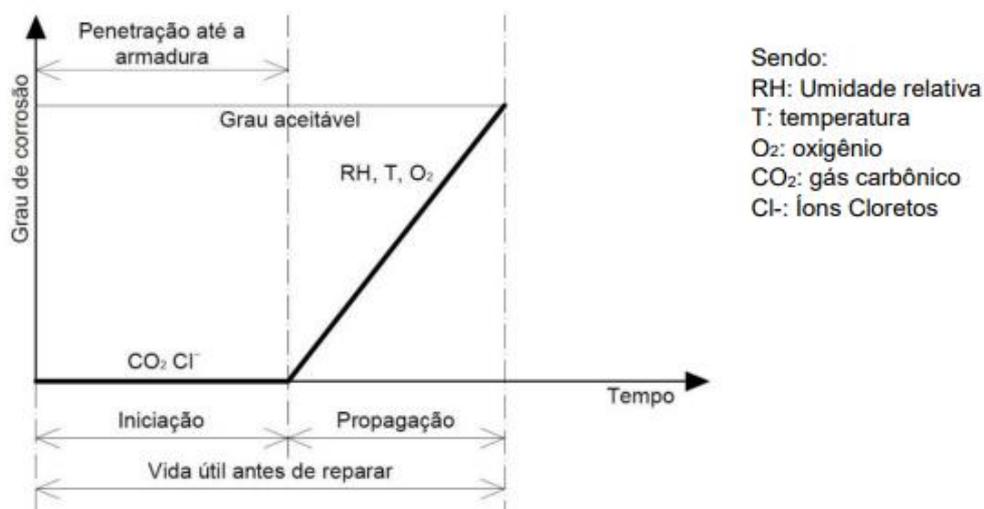
Parte da edificação	Exemplos	VUP (anos)		
		Mínimo	Intermediário	Superior
Revestimento de fachada aderido e não aderido	- Revestimento, molduras, componentes decorativos e cobremuros	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Pintura	- Pinturas internas e papel de parede	≥ 3	≥ 4	≥ 5
	- Pinturas de fachada, pinturas e revestimentos sintéticos texturizados	≥ 8	≥ 10	≥ 12
Impermeabilização manutenível sem quebra de revestimentos	- Componentes de juntas e rejuntamentos; mata-juntas, sancas, golas, rodapés e demais componentes de arremate	≥ 4	≥ 5	≥ 6
	- Impermeabilização de caixa d'água, jardineiras, áreas externas com jardins, coberturas não utilizáveis, calhas e outros	≥ 8	≥ 10	≥ 12
Impermeabilização somente com a quebra dos revestimentos	- Impermeabilizações de áreas internas, de piscina, de áreas externas com pisos, de coberturas utilizáveis, de rampas de garagem etc.	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Esquadrias externas (de fachada)	- Janelas (componentes fixos e móveis), portas-balcão, gradis, grades de proteção, cobogós, brises. Incluso complementos de acabamento como peitoris, soleiras, pingadeiras e ferragens de manobra e fechamento	≥ 20	≥ 25	≥ 30

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2021, p.82), adaptado pela autora, apresentação parcial.

O valor real da vida útil será uma composição do valor teórico de VUP influenciado pelas ações de manutenção, utilização, da natureza e da vizinhança. O não atendimento dos programas definidos no manual de uso, operação e manutenção, bem como ações anormais do meio ambiente reduzem o tempo de vida útil, podendo ficar menor do que o prazo estimado.

Diversos estudos já foram desenvolvidos para previsão da vida útil residual das estruturas, a qual depende de diversos fatores. Os modelos procuram simular os fenômenos que ocorrem, baseando-se nas características do concreto. Em se tratando de análise da carbonatação, o método mais utilizado é o modelo de Tuutti (1982), o qual considera, dentre outros fatores, a concentração de gás carbônico (CO₂) e divide o processo de corrosão em etapas. Tal processo pode ser exemplificado conforme a imagem a seguir.

Figura 2 – Modelo de corrosão de Tuutti



Fonte: Tuutti (1982) apud Pacheco (2016, p.45).

Primeiramente, verifica-se a fase de iniciação da corrosão, onde há o ingresso de agentes deletérios nas estruturas de concreto até as armaduras. Posteriormente, ocorre a propagação, iniciada após a despassivação do aço, momento em que os produtos de corrosão são gerados, variando conforme o teor de umidade, a temperatura e a presença de oxigênio (O₂) (PACHECO, 2016).

2.2.2 Classes de agressividade ambiental (CAA)

Em relação a agressividade do meio ambiente em que a estrutura está inserida, a NBR 6118 (ABNT, 2014) define que “*está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas*”.

As verificações quanto à durabilidade dos materiais e das manifestações patológicas devem considerar o tempo e o ambiente de exposição, técnicas construtivas, características dos materiais e domínio técnico dos profissionais (GJØRV, 2014).

As cidades e as indústrias estão crescendo cada vez mais; com isso, a agressividade dos ambientes está aumentando. Conforme Vilasboas e Machado (2010), a agressividade dos ambientes é classificada devido ao local de inserção da

edificação, influenciada por parâmetros como umidade, temperatura, pressão atmosférica, concentração de agentes de deterioração, entre outros.

Na Tabela 5 é possível verificar a classificação que a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece para as classes de agressividade ambiental (CAA) em determinados ambientes, assim podendo verificar o risco de deterioração da estrutura.

Tabela 5 - Classes de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha Industrial	Grande
IV	Muito forte	Industrial Respingos de maré	Elevado

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p.17).

Conforme a classe de agressividade, determina-se o cobrimento mínimo e a qualidade do concreto a ser utilizado na execução das estruturas.

2.2.2.1 Área industrial

Com o passar do tempo e o crescimento das indústrias, muitas construções passaram a apresentar níveis de degradação, devido ao aparecimento de manifestações patológicas. Tais problemas afetam sua segurança, utilização e a durabilidade. As áreas industriais estão mais propícias ao aparecimento de manifestações patológicas devido as condições de exposição das estruturas, onde há diversos contaminantes liberados na atmosfera, bem como processos de impacto, entre outros, dependendo da utilização.

As estruturas de indústrias, além de estarem expostas a ambiente agressivo, ainda são submetidas a fatores físicos, como altas vibrações e temperaturas, sem contar a exposição a vapores, óleos, graxas, compostos químicos etc., devido às características particulares dos processos que ocorrem (SOUZA; AGNOLO; 2018).

A prática de manutenções nestes ambientes é fundamental por se tratar de uma zona em classe de agressividade ambiental alta, o que representa grande risco

de deterioração da estrutura, por estar exposta a diferentes fatores de degradação, podendo impactar diretamente nos custos e processos produtivos da empresa (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

Com o aparecimento de manifestações patológicas nas edificações, tem-se um alto risco de acidentes com danos materiais, pessoais e ambientais; sobrevindo prejuízo nos processos produtivos e confiabilidade no caso de indústrias, e resultando em dificuldade de identificação das prioridades para intervenção, além de altos custos de manutenção e baixa efetividade em comparação se fossem realizadas manutenções preventivas.

Uma das alternativas preventivas em meios agressivos é a aplicação de proteção superficial nas estruturas. Tais sistemas podem ser impermeabilizantes, que formam uma película sobre a superfície do concreto ou hidrofugante, quando a película não é formada. Os impermeabilizantes geralmente são denominados de tintas e vernizes, próprios a formar uma película que impede ou minimiza o contato de elementos agressivos com a superfície do concreto. Os mais utilizados para formação das películas são o látex PVA, látex acrílico, poliuretano e epóxi. Já os hidrofugantes de poro aberto penetram nos poros da superfície do concreto e alteram o ângulo de contato entre as paredes dos poros e a água, tornando o concreto hidrorrepelente, impedindo a penetração de água por capilaridade. Os mais utilizados são os silicones (KAZMIERCZAK, 2011).

2.3 CARACTERÍSTICAS, PROJETO E DETALHES DAS FACHADAS

As fachadas estão ligadas diretamente com a estética do edifício. Assim sendo, faz-se necessário um projeto com detalhes para compatibilizar os aspectos construtivos, as propriedades dos materiais, os agentes de degradação atuantes e processos de manutenção para prolongar sua vida útil (CONSOLI, 2006). No caso das fachadas pré-fabricadas, a sua formação se dá pela junção de painéis através de juntas de dilatação.

Detalhes e ornamentos de fachadas, como peitoris de janelas, pingadeiras, rebaixos e saliências, podem conduzir a chuva ao solo protegendo o substrato. A textura e rugosidade podem influenciar na retenção de partículas e a permeabilidade, determinando o teor de umidade absorvida e retida pelo substrato (BREITBACH, A. M., 2009).

Os projetos são um conjunto de informações que devem ser definidas pelo projetista juntamente com as necessidades dos usuários para que os construtores possam seguir durante a execução da obra. Um projeto contém informações fundamentais para a obra ser realizada, sobre as etapas a serem seguidas, material utilizado, como deve ser realizado, compatibilização entre as disciplinas, entre outros. Falhas no desenvolvimento do projeto, bem como falhas de execução, podem desencadear problemas patológicos nas construções.

Por ser um componente externo, as fachadas são as regiões mais expostas da estrutura, ficando diretamente em contato com os poluentes do ambiente e água, tendo como função, além da estética, de proteger a edificação dos agentes de degradação e oferecer estanqueidade ao ar e a água. A fim de aumentar a durabilidade e longevidade dessas estruturas, bem como minimizar ou postergar reações deletérias, deve-se pensar em projetos e detalhes arquitetônicos que reduzam ou minimizem esse contato, associando ainda com planos de manutenção preventiva e corretiva (BRITZ C. *et al*, 2017). As estruturas estão suscetíveis a danos provocados por ações mecânicas, movimentações térmicas, impactos, ações cíclicas, retração, fluência, entre outros.

Elementos como drenos, juntas, aparelhos de apoio, instalações, pingadeiras, rufos, impermeabilizações, revestimentos, entre outros, possuem uma vida útil menor que a do concreto, necessitando de substituições, vistorias e manutenções adequadas, visto que sua função é proteger a estrutura (HELENE, 2001). Alguns exemplos de detalhes arquitetônicos importantes a serem planejados nas fachadas, visando a durabilidade, são a geometria dos ressaltos, pingadeiras, beirais, reentrâncias, texturas, juntas, além de programar manutenções preventivas como pintura e lavagem. A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) prevê o uso de proteções e detalhes arquitetônicos. Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021), as fachadas têm vida útil de 40 anos e os componentes são manuteníveis (duráveis), mas necessitam de manutenção periódica ou substituição durante a vida útil do edifício.

A qualidade do projeto impacta diretamente no processo construtivo e nas etapas de uso e ocupação do edifício, influenciando o seu comportamento ao longo da vida útil. Atualmente, os projetos englobam diversas especialidades, além de ter exigências de prazos e custos, visando desempenho e atendimento às diversas normas. É durante o projeto que as principais questões relativas às exigências dos usuários, sejam técnicas, ambientais ou de custo, devem ser estabelecidas

(CARRARO; OLIVEIRA, 2015). Falhas no fluxo de informação do processo de projeto, e deste para obra, falhas de especificação e de compatibilidade, falhas no planejamento das atividades de projeto e de obra e falhas no controle de qualidade da execução são exemplos de fatores que impactam na qualidade da construção.

Algumas manifestações patológicas podem surgir precocemente nas fachadas, e ter relação com detalhes arquitetônicos falhos de projeto ou mesmo pela ausência de manutenção (BRITZ C. *et al*, 2017).

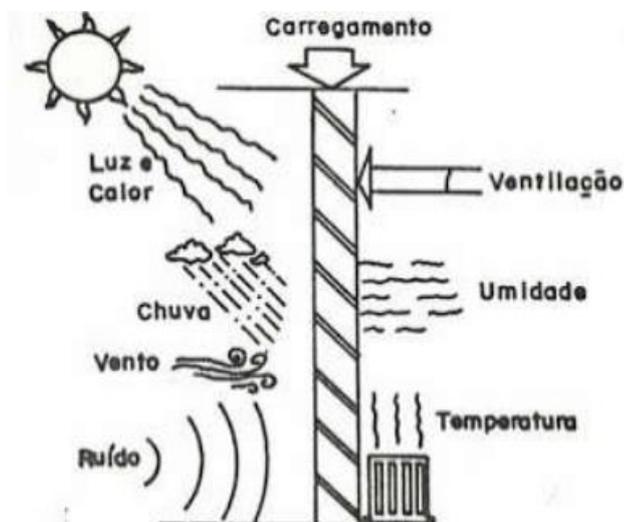
Conforme Beasley (2012), os danos patológicos de fachada têm causas diversas. Os que avançam ao longo do tempo, comprometendo o desempenho da fachada, normalmente, foram originados em projeto, podendo ocorrer pela falta de comunicação com a obra. Galbusera, Brito e Silva (2014) destacam a relevância dos aspectos de projeto e execução para a vida útil do edifício e suas partes, em que as falhas nestes processos podem reduzir para menos da metade a durabilidade do sistema.

Fatores de degradação resultantes do clima, como incidência de chuva, variações de umidade relativa e temperatura, interferem nas condições de exposição das edificações influenciando a degradação dos materiais. (ASTM E632, 1996; BAUER *et al*, 2014). Sendo a água em excesso o principal agente de degradação das fachadas, Gaspar e Brito (2005) afirmam que o efeito da chuva, assim como as mudanças de temperatura atuantes nas fachadas das edificações, são prejudiciais aos componentes. Tal como a água, o sol atua sobre edifícios e seus componentes, uma vez que fatores como a amplitude, taxa de variação da temperatura, intensidade da radiação solar, nível de absorção da superfície à radiação solar, iluminação, condutância térmica superficial e propriedades térmicas dos materiais de construção interferem na degradação dos edifícios (CASOTTI 2007).

A influência de diferentes variáveis, externas e internas, propicia o aparecimento de manifestações patológicas, muitas vezes de difícil definição de origens em virtude de não serem isolados, podendo ocorrer dois ou mais fatores simultaneamente, e sofrerem influência de outros. Elas causam desconforto físico e estético e podem trazer riscos à segurança e à vida de seus usuários (SILVA, 2014).

Um resumo dos agentes de degradação atuantes nos sistemas de vedação vertical externos está apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Agentes de degradação



Fonte: Bauer (1987) apud Oliveira (2020, p19).

A degradação das fachadas não acontece de maneira uniforme, visto que as condições de exposição são diferentes, sendo influenciada por variáveis como as condições ambientais, orientação solar, o nível de gravidade e a localização dos danos (BAUER et al, 2015), assim como, a presença de poluição, a existência ou não de vegetação, condições de relevo, entre outros.

As juntas de dilatação são detalhes construtivos aplicados para evitar tensões devido a verticalidade e movimentação da estrutura. Entre os componentes de fechamento, as juntas são pontos críticos, dado que suas dimensões e preenchimentos são fundamentais para o desempenho do sistema. A execução correta das juntas de dilatação evita o aparecimento de fissuras, aumentando a vida útil do elemento, garantindo seu bom funcionamento, fundamental para a segurança estrutural, estanqueidade a água e ao ar, isolamento termoacústico, resistência ao fogo e durabilidade dos elementos de fachada (OLIVEIRA; MELHADO, 2009). Em juntas de dilatação, é comum surgir complicações devido ao mau dimensionamento do elemento, ou falhas na execução, no momento da concretagem ou na aplicação dos selantes. Uma vedação não adequada na junta pode levar ao aparecimento de infiltrações, que podem facilmente danificar o concreto.

As fachadas podem ter revestimentos e detalhes em diversos materiais, onde o ACM (*Aluminum Composite Material*) vem sendo bastante utilizado em fachadas por ser um material versátil, podendo personalizar, com isolamento térmico e acústico e

baixa manutenção. Este material é formado por chapas em alumínio composto com núcleo de plástico polietileno; material leve, porém forte e resistente.

Em relação às cores das fachadas, estas influenciam no grau de biodeterioração em função do teor de energia absorvido, posto que quanto mais clara for a superfície, menor será a absorção de calor. Já as cores escuras, por absorverem radiação, podem apresentar ganho de calor solar, provocando maiores danos (BREITBACH, A. M. 2009). Por outro lado, as faces não expostas diretamente à incidência solar, ou mesmo a sombra, como as fachadas sul, podem receber até 50% menos raios U.V. do que as paredes diretamente expostas, provocando danos relacionados à umidade (CHADYSIENE, GIRGZDYS, 2008).

2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Patologia é um termo originado das palavras gregas “*páthos*” (sofrimento, doença) e “*logos*” (ciência, estudo), cujo significado é o estudo das doenças. O conceito é adequadamente aplicado a este tema, posto que na engenharia se estuda os mecanismos, os sintomas e a natureza das doenças das construções, que conflitam com a integridade ou o comportamento habitual do elemento (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Os danos patológicos podem ser provenientes de problemas das etapas de projeto, execução e uso, além da falta de manutenção, desencadeando um envelhecimento precoce das edificações (POSSAN; DEMOLINER, 2013). A utilização de materiais não adequados ou de má qualidade também afeta o desempenho das edificações de forma significativa.

As manifestações patológicas são caracterizadas como indicativos de falhas/danos e ocorrem quando o nível de desempenho da edificação ou seus componentes cai abaixo do mínimo esperado, interrompendo sua vida útil (GONÇALVES, 2015). Com o passar do tempo e o crescimento das cidades, muitas construções passaram a apresentar níveis de degradação maiores do que o esperado, devido ao aparecimento de manifestações patológicas. Tais problemas afetam sua segurança, utilização e a durabilidade. Com a degradação das estruturas, uma série de manifestações patológicas podem ocorrer, desencadeadas por um conjunto de fatores que devem ser analisados para determinar medidas a serem adotadas (SOUZA; RIPPER, 2009).

Segundo Helene (2013), as causas das manifestações patológicas estão relacionadas a vários fenômenos que influenciam no surgimento das anomalias, entre os quais: cargas excessivas, variações de umidades, variações térmicas, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais e agentes atmosféricos.

Como as manifestações patológicas podem se originar por falhas advindas da realização de um ou mais processos da construção, ter o correto diagnóstico de tal problema é fundamental para tomar as medidas necessárias. Quanto antes se detectar as anomalias, mais eficiente e com menores custos será a intervenção. (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

As diferentes áreas de engenharia e a experiência dos profissionais devem se integrar para a elaboração dos projetos, prevendo as condições de exposição às quais a estrutura estará exposta e compreendendo os mecanismos de envelhecimento da estrutura para prevenir o surgimento das manifestações patológicas ainda na fase de concepção, pois mesmo sendo realizadas as manutenções necessárias, as construções não são eternas e tendem a envelhecer (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

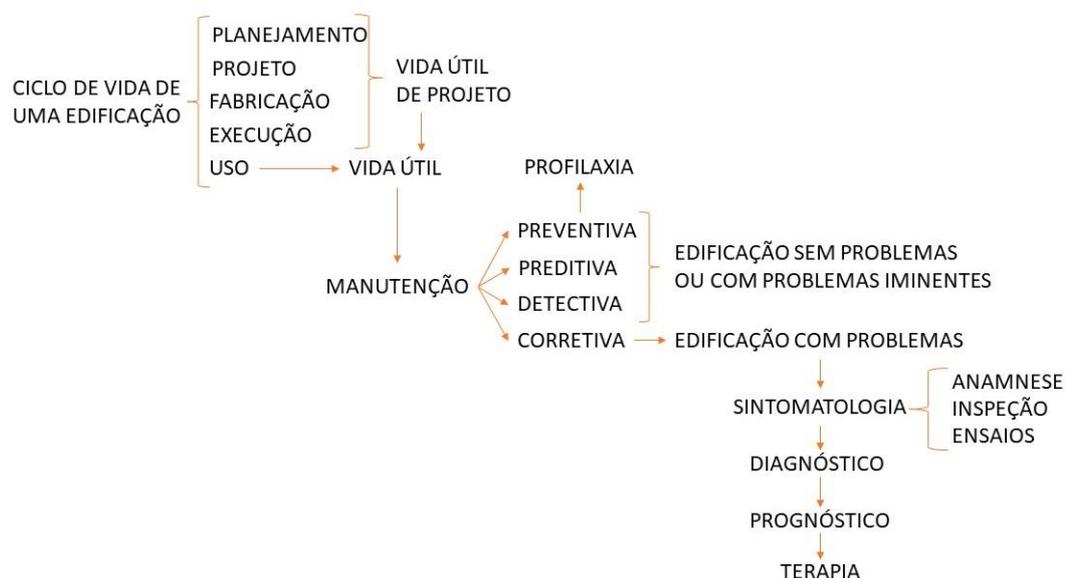
As manifestações patológicas podem ocorrer devido a diversos fatores, tais como as condições de exposição da estrutura, sendo por fatores atmosféricos ou biológicos, esforços submetidos, incompatibilidade de materiais ou pelo uso. Compreender os mecanismos que desencadeiam as manifestações patológicas é fundamental para prevenção destas, assim garantindo maior integridade e durabilidade nas estruturas, além de determinar as corretas medidas a serem adotadas (SOUZA; RIPPER, 2009). A avaliação das estruturas pode ser feita com inspeções e ensaios para identificar os fatores de deterioração da edificação.

A fachada é a primeira barreira protetora contra diversos agentes que ocasionam danos motivando sua degradação ao longo da vida útil da edificação. Visando normatizar e estabelecer requisitos mínimos de desempenho dos sistemas das edificações foi desenvolvida a norma NBR 15575 (ABNT,2021), onde a durabilidade é um dos principais requisitos constituídos.

De acordo com Monteiro (2018), as manifestações patológicas causam danos que podem ser classificados em estéticos, sendo um parâmetro subjetivo que afeta a aparência do edifício; funcionais, quando comprometem o uso e a destinação da obra; ou estruturais, afetando os elementos da estrutura podendo comprometer a estabilidade da edificação.

Um esquema do funcionamento da patologia das construções e seus processos é apresentado na figura abaixo.

Figura 4 – Esquema da Patologia das Construções



Fonte: Adaptado de (BOLINA TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Conforme percebe-se, para análise completa de uma edificação realiza-se a análise documental, seguida dos protocolos de análise da manutenção e no caso dos danos, procede-se com a análise patológica.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), os principais mecanismos de deterioração do concreto podem ocorrer através da reação álcali-agregado, expansão por sulfatos e por lixiviação. Já na armadura, por corrosão, onde a despassivação pode ser por carbonatação e/ou ação de cloretos. Tais problemas podem surgir principalmente por umidade ou fissuras nas construções.

2.4.1 Fissuras

As fissuras são muito comuns e facilmente visíveis nas edificações, podendo se originar de forma pacífica. Porém tal problema não é apenas estético, podendo desencadear diversas manifestações patológicas na estrutura e, inclusive, problemas relacionados ao desempenho em uso para usuários, desde estanqueidade à segurança estrutural (CORSINI, 2010). A fissuração corresponde a uma descontinuidade física em um elemento da construção, resultante das tensões. A

baixa resistência do concreto à tração e a retração são as principais causas do aparecimento de fissuras no concreto armado (BASTOS, 2019). Danos à durabilidade da estrutura podem ser provocados pelas fissuras, se não solucionadas, pois é possibilitada a entrada de água e agentes agressivos que deterioram os materiais (BONICÉ et al., 2015).

Existem diversos tipos e causas das fissuras e ainda podem ocorrer de forma ativa ou passiva. Para o correto diagnóstico é necessário classificar o grau dessa fissura, determinando se ela ainda sofre efeito da causa responsável pela fissuração (ativa) ou se ela só sofreu esse efeito durante um determinado tempo e agora está estável (inativa) (SOUZA e RIPPER, 2009).

Algumas das causas que desencadeiam as fissuras são movimentações térmicas ou higroscópicas, movimentações dinâmicas ou sobrecargas, por exemplo. As fissuras causadas por movimentações térmicas acontecem devido à dilatação e contração (por efeito das variações de temperatura), visto que ao se dilatar, a estrutura cria uma zona de concentração de esforço para aliviar a tensão, criando as fissuras. As fissuras de origem térmica também podem surgir por movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material. Os materiais possuem diferentes coeficientes de dilatação, além de estarem expostos em diferentes localizações de exposição, por isso cada material pode sofrer variação maior ou menor conforme a sua composição e a intensidade do sol e umidade na região onde a obra se encontra (THOMAZ, 2001). A ação de sobrecargas, previstas ou não em projetos, também pode produzir fissuras nos elementos estruturais e de vedação, provocadas pelo carregamento excessivo de compressão.

Entre um caso e outro, as aberturas poderão variar em função das propriedades higrotérmicas dos materiais e das amplitudes de variação da temperatura ou da umidade (THOMAZ, 2001). Na Tabela 6 é possível observar algumas das causas das variações dimensionais dos edifícios.

Tabela 6 - Causas das variações dimensionais

Variações de temperatura	Cíclicas (ex. Verão/Inverno) Ocorrência de gelo nos materiais porosos
Variações de umidade	Cíclicas (ex. Verão/Inverno, seco/molhado) - no edifício ou no entorno (ex. no solo) Irreversíveis (secagem dos materiais, retração)
Fenômenos químicos	Corrosão Carbonatação Ataque de sais
Causas macroestruturais	Variações das condições de apoio (sobretudo fundações) Sismos e fenômenos vibratórios Fluência dos elementos portantes Cargas e sobrecargas na edificação

Fonte: Bonshor, R. & Bonshor, L. (2001) apud Gaspar (2006, p.2)

Conforme percebe-se, dentre as causas podem constar fenômenos do clima, ações relacionadas ao material, ações excepcionais devido a condições externas, entre outros.

2.4.2 Danos decorrentes da umidade

Assim como as fissuras, a umidade é outro fator comum nas edificações que pode provocar problemas para estrutura. A umidade acarreta a diminuição da durabilidade por permitir a entrada de água na edificação, podendo provocar corrosão, eflorescências, descolamentos, mofo, bolores, defeitos na pintura, perda do reboco, fissuras, diminuição da isolamento térmica e da resistência mecânica, entre outros. A infiltração geralmente ocorre por falhas nos sistemas de impermeabilização, que devem ser corretamente projetados, executados e mantidos ao longo da vida útil da edificação. Verçozza (1991) considera que a umidade não é apenas uma causa de manifestações patológicas, ela age como um meio para que grande parte das manifestações patológicas ocorram.

Dentre as principais manifestações patológicas no concreto, a água está envolvida nos principais processos deletérios associadas com corrosão, reação álcali-agregado, infiltração, entre outras (BRITZ C. *et al*, 2017). Segundo Souza (2008), 60% dos problemas dentro da construção civil são causados por umidade em edificações em fase de uso e operação, podendo levar a prejuízos de caráter

funcional, de desempenho, estéticos e estruturais podendo representar risco à segurança e à saúde dos usuários.

A saturação de água nos materiais sujeitos à umidade tem como consequência o aparecimento de manchas características e posterior deterioração. Os problemas de umidade podem se manifestar em diversos elementos das edificações – paredes, pisos, fachadas e demais elementos, geralmente não estando relacionados a uma única causa.

A umidade pode ser originada por capilaridade, ocorrendo nas áreas inferiores, visto que absorvem a água do solo, ou devido à chuva, agente mais comum. A direção e velocidade do vento, a intensidade da precipitação, a umidade do ar e fatores da própria construção influenciam na ocorrência de manifestações patológicas geradas pela ação da água (SOUZA, 2016).

A eflorescência, um dos danos desencadeadas pela umidade, pode ser definida como um processo em que ocorre a migração da umidade da parede externa para a interna, formando sais solúveis. Como efeito deste processo, aparecem manchas de cor branca na superfície, alterando o aspecto visual do revestimento, além de facilitar a entrada de agentes agressivos para a estrutura. A eflorescência é originada por três fatores: o teor de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes, a presença de água ou umidade e a pressão hidrostática que faz com que a migração da solução ocorra, indo para a superfície (SOUZA, 2016). Tal patologia é mais frequente em regiões com umidade relativa do ar e temperaturas mais elevadas, regiões com alta concentração de CO₂, entre outros fatores.

A lixiviação faz parte do processo de surgimento da eflorescência, consistindo no acúmulo de hidróxido de cálcio na superfície. É o fenômeno de entrada de água dentro do concreto, dissolvendo o Ca(OH)₂ e Mg(OH)₂, presentes no cimento, e trazendo-os até a superfície. Os hidróxidos de cálcio e magnésio reagem com o CO₂ do ar, transformando-se nos sais, que com a evaporação da água, formam-se as manchas brancas que chamamos de eflorescência. Ou seja, a lixiviação torna possível a ocorrência das eflorescências.

Para danos patológicos ocasionados em decorrência da degradação natural, a prevenção se dá através de manutenção periódica, como pinturas e trocas de revestimentos, evitando assim problemas de infiltrações, fazendo com que a vida útil da estrutura seja conservada ou até prolongada. A impermeabilização do edifício é a

medida básica contra as infiltrações, estancando a umidade e evitando que ela degrade a estrutura (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

2.4.3 Deterioração do concreto

A deterioração do concreto pode ocorrer através da reação álcali-agregado, expansão por sulfatos e por lixiviação, já na armadura por corrosão, onde a despassivação pode ser por carbonatação e/ou ação de cloretos, conforme classifica a NBR 6118 (ABNT, 2014).

A reação álcali-agregado pode ser definida como a expansão por ação das reações de incompatibilidade entre os álcalis do concreto e agregados reativos, sendo necessário cuidado no momento de especificar os materiais. Já a lixiviação dissolve os componentes hidratados da pasta de cimento formando compostos expansivos, permitindo a entrada de agentes agressivos. Para prevenir sua ocorrência deve-se minimizar as fissuras para evitar a infiltração de água e proteger as superfícies. A expansão por sulfatos ocorre devido a ação de águas ou solos que estejam contaminados, originando reações expansivas e deletérias.

Na armadura, a carbonatação ocorre devido as reações químicas entre o gás carbônico presente na atmosfera, que penetra nos poros do concreto e reage com os hidróxidos, reduzindo o pH. Inicia-se na superfície da peça avançando para o interior do concreto, ocasionando a redução da área de armadura. A despassivação por carbonatação ocorre principalmente em ambientes com umidade relativa entre 60% e 98%, possibilitando a corrosão das armaduras. Já a despassivação por ação de cloretos ocorre devido a ruptura local da camada de passivação, causada por elevado teor de íon-cloro. Para evitá-la, é necessário dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. A espessura do revestimento de concreto e o controle da fissuração são os principais fatores para a proteção das armaduras.

2.4.4 Corrosão das armaduras

A corrosão das armaduras é um mecanismo de deterioração e transformação das barras de aço de uma estrutura de concreto armado, com alterações químicas, físicas e mecânicas. O concreto proporciona uma proteção física (cobrimento da armadura) e química (alcalinidade) às barras, preservando-a dos mecanismos que

podem induzir tal fenômeno eletroquímico (BOLINA, 2016). As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto, pois o cobrimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável um concreto de baixa porosidade.

Tal manifestação patológica é a mais encontrada nas estruturas de concreto armado em ambientes agressivos. O risco e a evolução da corrosão dependem principalmente da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento da armadura. Tais características variam de acordo com o tipo de ambiente que a estrutura está inserida e as condições de exposição da estrutura ou de suas partes. A velocidade da corrosão das armaduras está diretamente ligada à concentração de CO_2 presente na atmosfera, ampliando a velocidade conforme aumenta a concentração de CO_2 . Ainda, é interferida com a presença de umidade no interior dos poros do concreto, assim como as fissuras facilitam o processo de corrosão pela entrada de agentes deletérios. Segundo Sadowski (2013), a probabilidade de corrosão das estruturas de concreto depende da condutividade iônica do concreto, da umidade, da temperatura e da qualidade do concreto de cobrimento.

As armaduras de aço no concreto são protegidas da corrosão devido às condições de passividade desenvolvidas em contato com a solução alcalina contida nos poros da pasta de cimento, podendo sofrer despassivação por carbonatação e/ou ação de cloretos, conforme NBR 6118 (ABNT, 2014). O mecanismo de corrosão eletroquímica mais frequente é desencadeado de reações de oxidação (região anódica) e reações de redução (regiões catódicas).

A carbonatação é a reação do dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera com os compostos hidratados do cimento, principalmente o hidróxido de cálcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], ou com os compostos alcalinos presentes na solução dos poros do concreto como o hidróxido de sódio (NaOH) e o hidróxido de potássio (2KOH), resultando na formação de carbonato de cálcio (CaCO_3), carbonato de sódio (Na_2CO_3) ou carbonato de potássio (K_2CO_3), respectivamente, e água. Como consequência, o pH do concreto diminui, alterando as condições da película de passivação do aço, gerando um ambiente favorável para que tenha início a corrosão da armadura, uma das manifestações patológicas que mais afeta e degrada as estruturas de concreto. A presença de partículas sólidas vindas da poluição da atmosfera, que se depositam na superfície das peças estruturais, também é responsável pela degradação das estruturas e pela dissolução da matriz cimentícia (LIMA, 2011).

Além disso, a corrosão pode ser desencadeada pela despassivação por cloretos, que consiste na ruptura local da camada de passivação, causada por elevado teor de íon-cloro.

A Tabela 7, apresentada por Kazmierczak (1995), cita os principais fatores que influenciam a velocidade de penetração da frente de carbonatação:

Tabela 7 - Principais fatores que condicionam a velocidade de carbonatação

Fatores Condicionantes	Características Influenciadas
Condições de Exposição	Concentração de CO ₂ Mecanismo físico-químico Velocidade de carbonatação
	Umidade relativa do ar Grau de saturação dos poros Velocidade de carbonatação
	Temperatura Velocidade de carbonatação
Características do Concreto	Composição química do cimento: - Características do clínquer - Teor de adições Traço Porosidade da pasta carbonatada Reserva alcalina Porosidade
	Qualidade de execução - Defeitos - Cuidados com a cura Porosidade Grau de hidratação

Fonte: Kazmierczak (1995, p.168).

Conforme (HELENE, 2014), a corrosão da armadura geralmente só aparece depois de alguns anos em que a estrutura está sendo utilizada, podendo demorar até 15 anos para surgirem, raramente apresentando sintomas com pouco tempo de uso.

2.5 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DA ESTRUTURA

O processo para análise das manifestações patológicas presentes em uma estrutura pode ser dividido em: inspeção preliminar, inspeção detalhada, diagnóstico (origem, causas, mecanismos), prognóstico (predizer) e terapia (proteções, reparos, reforços, etc.) (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

Alguns conceitos são importantes serem definidos para esta etapa, onde resume-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Termos da patologia

Termo	Definição
Manifestação patológica	Problemas visíveis ou observáveis, indicando falhas no comportamento usual.
Causa	Agente causador dos problemas patológicos.
Origem	Etapa do processo construtivo em que a manifestação patológica surgiu.
Fenômeno	Raiz do problema, onde deve-se buscar a solução.
Inspeção	Análise visual para identificar problemas e definir qual o melhor procedimento.
Anamnese	Estudo dos antecedentes da estrutura, com conversas, análise de projetos, verificação da vizinhança.
Diagnóstico	Explicação e esclarecimento das origens, mecanismo, sintomas e agentes causadores do problema.
Profilaxia	Medidas preventivas para que o problema não ocorra.
Prognóstico	Análise da progressão da enfermidade, se nada for feito.
Terapia	Medidas para neutralizar o fenômeno, devolvendo desempenho e qualidade a estrutura. Estudo das intervenções corretivas viáveis.
Recuperação	Atividades que visam corrigir os problemas patológicos.
Reparo	Recuperação localizada de um problema.
Reforço	Recuperação com aumento da capacidade resistente.
Demolição e Reconstrução	Realizado quando a recuperação não permite atingir o nível de desempenho necessário ou seu custo é excessivo.

Fonte: Adaptado de (BOLINA TUTIKIAN; HELENE, 2019, p.9).

Os problemas que aparecem nas construções devem ser avaliados e corrigidos para não comprometer a estrutura. Mais do que isso, deve-se prevenir que as manifestações patológicas apareçam e evoluam (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Dessa forma, são realizadas vistorias, que são procedimentos nas construções para analisar os sintomas, os mecanismos de deterioração envolvidos, as causas e origem das manifestações patológicas, visando obter um diagnóstico.

Dependendo da anomalia identificada, os processos a serem realizados na estrutura se modificam. Cabe destacar a importância de realizar inspeções para obter o diagnóstico das manifestações patológicas, para posteriormente, a partir da identificação da causa e origem, definir as técnicas a serem realizadas (RESENDE, 2018).

De acordo com Ono *et al* (2018), deve ser realizada uma avaliação contínua das etapas de produção, uso, operação e manutenção. A Avaliação Pós Ocupação (APO) é um conjunto de procedimentos que tem por finalidade conferir o atendimento aos requisitos e critérios de desempenho, observação das normas, identificação de aspectos críticos, proposição de ações para sua solução, visando atender às necessidades dos usuários no uso da construção. Tais informações obtidas podem servir para a gestão de qualidade dos projetos, onde as diretrizes elaboradas, a partir dos diagnósticos de APO, são aplicáveis em novas edificações ou para intervir em construções existentes.

2.5.1 Normas técnicas

Dentre as inúmeras definições e parâmetros existentes para projetar e analisar as estruturas, algumas normas são fundamentais. Pensando na durabilidade das estruturas de concreto, procedimentos como inspeção e manutenção também devem ser considerados, seguindo-se um padrão. A Tabela 9 apresenta um resumo das principais normas utilizadas para elaboração deste trabalho.

Tabela 9 – Principais normas utilizadas

Norma	Título	Objetivo
NBR 15575 (ABNT, 2021)	Edificações habitacionais - Desempenho	Estabelece requisitos e critérios de desempenho para o edifício e seus sistemas quanto ao seu comportamento em uso.
NBR 5674 (ABNT, 2012)	Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção	Estabelece os requisitos para a gestão do sistema de manutenção de edificações. A gestão do sistema de manutenção inclui meios para: a) preservar as características originais da edificação; b) prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes.
NBR 16747 (ABNT, 2020)	Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento	Fornecer diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos relativos à inspeção predial, visando uniformizar metodologia, estabelecendo métodos e etapas mínimas da atividade.
NBR 6118 (ABNT, 2014)	Projeto de estruturas de concreto - Procedimento	Estabelece os requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídas aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais.
NBR 9062 (ABNT, 2017)	Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado	Estabelece os requisitos para o projeto, a execução e o controle de estruturas de concreto pré-moldado, armado ou protendido.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Além destas, podem ser necessárias outras normas complementares, a depender das legislações específicas de cada região.

2.5.2 Inspeção

A realização de inspeções, juntamente com ensaios, pode proporcionar acesso a informações, análise da sintomatologia, e avaliação completa das estruturas, de modo a serem definidas estratégias como intervenções de reabilitação, reparo e reforço. Diagnosticar os problemas antes que o desempenho e a funcionalidade sejam comprometidos é o objetivo pelo qual são previstas inspeções periódicas da estrutura, além de ser item fundamental para criação e aplicação de manutenções (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

A norma NBR 16747 (ABNT, 2020) foi criada para estabelecer conceitos, diretrizes e procedimentos em relação à inspeção predial, padronizando a metodologia a ser empregada e definindo suas etapas mínimas, que são:

- a) Levantamento de dados e documentação;
- b) Análise dos dados e documentação solicitados e disponibilizados;
- c) Anamnese para identificação de características construtivas da edificação, como idade, histórico de manutenção, intervenções, reformas e alterações de uso ocorridas;
- d) Vistoria da edificação de forma sistêmica, considerando a complexidade das instalações existentes (características construtivas, idade das instalações e da construção e vida útil prevista, exposição ambiental da edificação, agentes e processos de degradação atuantes, expectativas sobre o comportamento em uso);
- e) Classificação das irregularidades constatadas;
- f) Recomendação das ações necessárias para restaurar ou preservar o desempenho dos sistemas, subsistemas e elementos construtivos da edificação afetados por falhas de uso operação ou manutenção, anomalias ou manifestações patológicas constatadas e/ou não conformidade com a documentação analisada (considerando, para tanto, o entendimento dos mecanismos de deterioração atuantes e as possíveis causas das falhas, anomalias e manifestações patológicas);

- g) Organização das prioridades, em patamares de urgência (onde a prioridade 1 é a mais urgente e a 3 a menos urgente);
- h) Avaliação da manutenção conforme a NBR 5674 (ABNT, 2012);
- i) Avaliação do uso;
- j) Redação e emissão do laudo técnico de inspeção.

As inspeções auxiliam na identificação dos problemas, por isso requerem alto conhecimento técnico dos profissionais responsáveis. O correto diagnóstico é fundamental para definição das intervenções a serem realizadas. Para isso, é necessário conhecer os sintomas, ou seja, as formas de manifestação, os mecanismos e processos de surgimento, as causas, que são os agentes desencadeadores dos danos e a origem do problema, ou seja, a etapa em que surgiu o problema (NADALINI; BISPO; 2017).

Segundo Helene (2007), a inspeção é uma atividade técnica especializada, envolvendo a coleta de elementos, projetos, análise da construção, realização de relatórios, recomendações para ações futuras, podendo ser de novas vistorias, manutenções, recuperação, reforço ou reabilitação da estrutura.

A norma NBR 5674 (ABNT, 2012) que estabelece os requisitos de manutenção destaca a importância da inspeção, devendo considerar um roteiro de inspeções dos sistemas, subsistemas, elementos, equipamentos e componentes da edificação; as formas de manifestação esperadas da degradação natural associadas à sua vida útil, que resultem em risco à saúde e segurança dos usuários; e as solicitações e reclamações dos usuários ou proprietários. Ainda, destaca os itens que os relatórios de inspeções devem ter, sendo:

- descrever a degradação de cada sistema, subsistema, elemento ou componente e equipamento da edificação;
- apontar e, sempre que possível, estimar a perda do seu desempenho;
- recomendar ações para minimizar os serviços de manutenção corretiva;
- conter prognóstico de ocorrências.

No processo de inspeção predial a análise verificará os elementos, subsistemas e sistema construtivo, classificando as irregularidades encontradas em anomalias, falhas ou manifestação patológica, onde são definidos pela NBR 16747 (ABNT, 2020) como:

- anomalias: caracterizam-se pela perda de desempenho, podendo ser divididas em endógena ou construtiva (quando a perda de desempenho decorre do projeto e/ou execução); exógena, quando a perda de desempenho se relaciona a fatores externos à edificação, provocados por terceiros; e funcional, quando a perda de desempenho decorre do envelhecimento natural e consequente término da vida útil.
- falhas: caracterizam-se pela perda de desempenho decorrentes do uso, operação e manutenção.
- manifestações patológicas: são o resultado de um mecanismo de degradação dos materiais, componentes ou sistemas, reduzindo o desempenho.

O estado de conservação e funcionamento da estrutura avaliada na inspeção é referente à data que foi analisada, podendo ser necessários ensaios complementares, visto que é uma avaliação sensorial podendo não ser possível classificar os danos apenas de forma visual.

Na realização da inspeção, é essencial realizar uma anamnese, ou seja, analisar os antecedentes da estrutura e do ambiente, baseado em documentos e visita a obra, bem como realizar um exame visual da estrutura, levantar os danos existentes, selecionar locais e técnicas para realização de ensaios, e executar os ensaios, medições e análises necessárias (INOCÊNCIO; CORREA, 2013).

Inicialmente, realiza-se uma inspeção preliminar para realizar coleta de dados, identificando os sintomas, localização e intensidade das manifestações patológicas, podendo determinar a origem do problema. Nesta etapa, recomenda-se a utilização de um formulário para avaliação dos antecedentes da estrutura e do ambiente. Na estrutura, deve-se coletar informações sobre a idade, procedência dos materiais constituintes, resistência do concreto, características construtivas, quando se observou o início dos problemas, diagnósticos e reparos anteriores, níveis de tensão de trabalho da estrutura, eventuais mudanças de uso, entre outros fatores identificados como importantes. Em relação ao ambiente, deve-se coletar informações para caracterizar sua agressividade, sendo essencial observar a interação entre o ambiente e a estrutura para determinar e qualificar sua intensidade. No processo de exame visual da estrutura é avaliado se o problema é generalizado ou localizado. Deve-se registrar qualquer sinal de anomalia presente na estrutura, bem como realizar um relatório fotográfico. Em locais de grande extensão, dividir as áreas a serem

analisadas pode facilitar o trabalho, bem como atribuir nomenclaturas para os elementos analisados (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

Na etapa de inspeção detalhada, deve-se fazer um levantamento dos dados da construção, planejamento de ensaios e amostras, classificação de danos, identificar as características da estrutura, diferenciar as regiões com base na exposição aos meios agressivos, estabelecer o nível de deterioração da estrutura e seus elementos. A inspeção detalhada busca a definição da causa das manifestações, através de ensaios para possibilitar um melhor diagnóstico e especificar ações de intervenção (INOCÊNCIO; CORREA, 2013, TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

O diagnóstico da estrutura é o processo pós inspeção, onde ocorre o entendimento e explicação das anomalias encontradas, de como a estrutura funciona, como foi construída, como tem reagido aos agentes agressivos, como e porque surgiram os problemas etc., para assim poder definir as corretas medidas a serem adotadas. O diagnóstico é a descrição das causas e origem dos problemas para prevenir futuras consequências (MIRANDA et. al, 2021).

Para classificar os danos encontrados, são identificadas diversas causas possíveis, também podendo ocorrer sobreposição de ações (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Segundo Cortês (2014), a durabilidade das estruturas pode ser prejudicada por fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos. Como analisado por Santos (2018), o grau e comportamento da deterioração evolui conforme a idade da edificação, bem como pela incidência de agentes climáticos. Dessa forma, ao analisar os danos, deve-se considerar a época do ano, localização, direção das fachadas, ambiente, forma e dimensão do edifício, manutenções realizadas, entre outros fatores.

Já o prognóstico é um levantamento de hipóteses de como o problema pode evoluir, devendo ser realizado antes de tomar alguma atitude na estrutura, considerando a evolução natural do problema, as condições de exposição que se encontra e a tipologia do problema. Em alguns casos, através do prognóstico, percebe-se que a intervenção não será um procedimento satisfatório e/ou com custo-benefício considerável. Após estabelecer o prognóstico, parte-se para a tomada de decisão final sobre a terapia a ser adotada, definindo o objetivo de intervir, podendo ser para eliminar a enfermidade, impedir ou controlar a evolução ou não intervir. Com o diagnóstico e prognóstico do problema realizados, devem ser elaboradas especificações e procedimentos para recuperação ou reforço da estrutura. As ações de recuperação são para devolver ao elemento as condições previstas em projeto, já

as ações de reforço são para proporcionar um desempenho maior à estrutura (TUTIKIAN; PACHECO, 2013, NADALINI; BISPO; 2017).

Alguns itens considerados essenciais nos laudos de inspeção são (TECHNE, 2012):

- Identificação;
- Classificação do objeto da inspeção;
- Localização;
- Data;
- Descrição técnica do objeto;
- Tipologia e padrão construtivo;
- Utilização e ocupação;
- Idade da edificação;
- Grau da utilização;
- Documentação analisada;
- Critério e metodologia adotados;
- Lista de verificação dos elementos construtivos e equipamentos vistoriados com a descrição e localização das respectivas anomalias e falhas;
- Classificação e análise das anomalias e falhas quanto ao grau de risco;
- Indicação da ordem de prioridade;
- Classificação do estado de conservação geral do imóvel;
- Lista de recomendações técnicas;
- Lista de recomendações gerais e de sustentabilidade;
- Relatório fotográfico;
- Recomendação de prazo para nova inspeção predial;
- Assinatura e ART dos profissionais.

Os laudos apresentam informações referentes à edificação analisada, bem como recomendações de ações a serem realizadas, envolvendo conhecimentos de diversas disciplinas.

De acordo com a NBR 16747 (ABNT, 2020, p.9), as recomendações para correção das anomalias identificadas devem ser organizadas conforme sua urgência, como apresentado a seguir:

- Prioridade 1: ações necessárias quando a perda de desempenho compromete a saúde e/ou a segurança dos usuários. e/ou a funcionalidade dos sistemas construtivos, com possíveis paralisações; comprometimento de durabilidade (vida útil) e/ou aumento expressivo de custo de manutenção e de recuperação. Também devem ser classificadas no patamar “Prioridade 1” as ações necessárias quando a perda de desempenho, real ou potencial, pode gerar riscos ao meio ambiente;
- Prioridade 2: ações necessárias quando a perda parcial de desempenho (real ou potencial) tem impacto sobre a funcionalidade da edificação, sem prejuízo à operação direta de sistemas e sem comprometer a saúde e segurança dos usuários;
- Prioridade 3: ações necessárias quando a perda de desempenho (real ou potencial) pode ocasionar pequenos prejuízos à estética ou quando as ações necessárias são atividades programáveis e passíveis de planejamento, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor da edificação. Neste caso, as ações podem ser feitas sem urgência porque a perda parcial de desempenho não tem impacto sobre a funcionalidade da edificação, não causa prejuízo à operação direta de sistemas e não compromete a saúde e segurança do usuário.

Conforme exposto acima, a prioridade 1 é a mais urgente e a prioridade 3 a menos urgente.

2.5.3 Ensaios complementares

Ao realizar o levantamento das manifestações patológicas e analisar os dados da edificação e do entorno, é possível definir as estratégias a serem realizadas ou as consequências da não realização de ações corretivas. Conforme o grau e tipologia dos danos, a análise pode envolver ensaios destrutivos e não destrutivos (TUTIKIAN; PACHECO, 2013). Conforme destacam Tutikian e Pacheco (2013), alguns dos ensaios comuns a serem realizados nas estruturas de concreto armado são:

a) no concreto:

- resistividade;
- avaliação da dureza superficial da estrutura, através da esclerometria;
- determinação da velocidade de propagação da onda de ultrassom;
- profundidade de carbonatação;
- penetração de cloretos;
- resistência à compressão;
- porosidade.

b) na armadura:

- localização e espessura de cobertura, através da pacometria;

- perda de diâmetro e seu limite elástico;
- medição de potenciais de corrosão;
- medição da velocidade de corrosão.

As inspeções podem associar-se com ensaios para verificar anomalias não visíveis na superfície de forma a complementar a análise.

2.5.3.1 Detecção de barras

O ensaio de detecção de barras (pacometria) localiza as armaduras no interior do concreto e seu cobrimento com um aparelho chamado pacômetro, através de ondas eletromagnéticas de baixa frequência. Tal ensaio não possui uma norma nacional, porém segue o código ACI 228 2R (2013). O cobrimento da armadura é de grande importância, principalmente em lugares com alto grau de agressividade, devido ao contato de elementos do meio ambiente com o concreto, podendo fazer com que ocorra uma perda do desempenho de um empreendimento.

Este ensaio é utilizado principalmente para verificar a distribuição das armaduras, cobrimento, bitola e localização das armaduras (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). Resultados não satisfatórios podem ocorrer quando a estrutura possui uma grande quantidade de armadura que, devido à proximidade das barras, causa interferência magnética. Além disso, o aparelho também não detecta barra sobrepostas. Os ensaios de pacometria são eficientes para identificar a localização da armadura, porém não apresentam valores tão precisos quanto ao cobrimento e ao diâmetro do aço. Cada equipamento tem suas limitações, que dependem da orientação do fabricante.

O pacômetro, ou detector de barras, é útil na análise de estruturas que desenvolveram alguma patologia ou quando não se tem informações sobre o projeto, pois proporcionam informações de cobrimento e armadura executada sem a necessidade de destruição do concreto. Além disso, utiliza-se o pacômetro para localizar as armaduras em caso de extração de corpos de provas ou furação, para evitar danificar a armadura.

2.5.3.2 Profundidade de carbonatação

A carbonatação do concreto é a reação do CO_2 (dióxido de carbono), presente na atmosfera, em grautes, argamassas, concreto armado, entre outros. O dióxido de carbono presente no ar penetra no concreto, reagindo com os componentes alcalinos presentes na pasta de cimento, principalmente com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), formando o carbonato de cálcio. Tal fenômeno faz com que o concreto tenha o seu pH reduzido de 13 para 9, em média (ANDRADE, 1992). Com isso, as armaduras ficam mais suscetíveis à corrosão e, com o passar do tempo, a profundidade da carbonatação vai aumentando, ocorrendo a despassivação de armaduras (SOUZA; RIPPER, 2009).

Para verificar o avanço da carbonatação, um ensaio bastante utilizado é o de aspersão de um indicador colorimétrico, geralmente a fenolftaleína, composto orgânico usado para medir pH, onde aplica-se em corpo de prova ou pó de concreto retirado da estrutura. A fenolftaleína ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) classifica se as substâncias são ácidas ou básicas, alterando de cor conforme o pH. Assim, em regiões com pH 9 ou menos, a cor não modificará, indicando carbonatação, em que o pH original reduziu. Porém, se o pH do concreto se mantiver original, em meio alcalino com pH por volta de 13, a cor apresentada será magenta, indicando não carbonatação. Com isso é possível identificar até qual profundidade a pasta de cimento hidratada reagiu com o gás carbônico (carbonatação), verificando a possibilidade de as armaduras estarem despassivadas (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Este fenômeno é um processo altamente influenciável pelo ambiente onde a estrutura está inserida, devido à concentração de CO_2 na atmosfera, além de a temperatura e a umidade relativa serem fatores que afetam a taxa de carbonatação (JIAO et al, 2016). A intensidade de corrosão é influenciada pelo cobrimento dos elementos de concreto armado e a velocidade que a corrosão acontece tem como fatores a difusão de CO_2 , umidade relativa do ar, relação a/c, tipo de cimento utilizado, permeabilidade do concreto e as características de cura (LAPA, 2008).

Em teores de umidade muito baixos (menores que 50%), ou quando os poros estão secos, não ocorre a carbonatação, visto que este processo precisa de água para reagir com o dióxido de carbono. Por outro lado, altos níveis de saturação também não são favoráveis, pois a velocidade de difusão de CO_2 diminui devido à grande

presença de água, inviabilizando a carbonatação (MEIRA et al., 2006). Segundo Lapa (2008), com umidade relativa de 60% se atinge o grau de carbonatação máximo.

De acordo com a Primeira Lei de Fick, a penetração de gás é proporcional a diferença na concentração de CO₂ entre dois ambientes, ou seja, quanto maior o gradiente de concentração entre o ambiente externo e o interior do concreto, maior será a penetração de dióxido de carbono e, conseqüentemente, maior será a profundidade de carbonatação observada durante um determinado período (DA SILVA et al., 2009).

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta algumas medidas preventivas que podem ser tomadas para evitar o processo de carbonatação nas estruturas de concreto, dentre elas a prevenção, visando dificultar o ingresso de agentes agressivos. É essencial cuidar o cobrimento das armaduras e ter controle de fissuração, além de utilizar um concreto com baixa porosidade.

2.6 MANUTENÇÃO

Nas construções, a realização de manutenções é essencial e obrigatória conforme estabelece a NBR 5674 (ABNT, 2012), devendo ser realizada por profissional habilitado e de acordo com o programa de manutenção desenvolvido ainda na fase de projeto, visto que as estruturas não são feitas para serem descartáveis. Os serviços de manutenção devem ser definidos em períodos de curto, médio e longo prazos, juntamente com o programa de manutenção de maneira a:

- coordenar os serviços de manutenção para reduzir a necessidade de sucessivas intervenções;
- minimizar a interferência dos serviços de manutenção no uso da edificação e a interferência dos usuários sobre a execução dos serviços de manutenção;
- otimizar o aproveitamento de recursos humanos, financeiros e equipamentos.

As manutenções dependem, entre diversos fatores, da agressividade do ambiente em que a edificação é exposta, além das manifestações patológicas constatadas durante a sua utilização. Um dos parâmetros importantes para a realização das manutenções é o atendimento ao desempenho das edificações e de seus sistemas conforme descrito na NBR 15575 (ABNT, 2021).

Com o crescimento do mercado da construção civil, a velocidade de execução das obras acelerou e a qualificação da mão-de-obra foi diminuída. Além disso, materiais e técnicas construtivas de menor qualidade tem sido adotados, sobretudo por conta dos custos. Se não realizadas as manutenções adequadas para prolongar a vida útil dessas obras, os problemas tendem a aparecer rapidamente, prejudicando ainda mais os orçamentos. Por isso, deve-se pensar no custo-benefício no momento de planejamento, prevendo inspeções e manutenções.

As ações previamente definidas para manutenção devem ser executadas e planejadas levando em consideração, não somente a parte financeira, mas também a previsão de infraestrutura material, técnica e de recursos humanos para realização de tais procedimentos.

Para garantir, de forma eficiente, o desempenho e a vida útil das estruturas, as manutenções podem ser divididas conforme NBR 5674 (ABNT, 2012) em:

- rotineira, caracterizada por um fluxo constante de serviços;
- corretiva, recuperando algum dano, caracterizada por serviços que necessitam de ação imediata a fim de permitir a utilização ou evitar riscos e prejuízos; e
- preventiva, caracterizada por serviços realizados antecipadamente, mantendo o desempenho da estrutura, diminuindo assim a possibilidade de falhas.

Um programa de manutenção deve ser elaborado para organizar as atividades de recuperação ou reforço estabelecidas, assim como as manutenções e inspeção que devem ser realizadas ao longo do tempo, especificando responsáveis e periodicidade. Alguns critérios que devem ser analisados ao estabelecer as ações e prioridades a serem realizadas são a gravidade das anomalias, a urgência, o potencial de evolução da patologia e os recursos necessários e disponíveis.

A prática de manutenções nos ambientes comerciais, assim como nos demais, é de fundamental importância, por se tratar de um espaço com grande circulação de pessoas, refletindo profundamente na segurança do local. Com o aparecimento de manifestações patológicas nas edificações, tem-se um alto risco de acidentes com danos materiais, pessoas e ambientais; sem falar de prejuízo nos processos produtivos e da confiabilidade, dificuldade de identificação das prioridades para

intervenção, além de altos custos de manutenção e baixa efetividade, em comparação à segurança oferecida, caso fossem realizadas manutenções preventivas.

De forma a manter a integridade, funcionalidade e estética das edificações, mecanismos como limpeza e pintura, que podem parecer comuns e simples de serem realizados, são fundamentais (BRITZ C. *et al*, 2017). As operações de limpeza e pintura, diversas vezes subestimadas e negligenciadas, são de grande relevância na prevenção de outras anomalias, evitando a evolução de sujidades e acúmulo de outros depósitos na superfície do revestimento.

Diferentemente das estruturas de concreto, seus sistemas possuem vida útil menor, necessitando de manutenções e trocas regularmente, conforme determina a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Segundo a NBR 5674 (2012), as manutenções têm como objetivo preservar as características originais da edificação e prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação de sua estrutura, devendo considerar a tipologia da edificação, qual seu uso, seu tamanho e complexidade, bem como a localização e implicações de seu entorno. A manutenção preventiva é fundamental para manter a integridade do imóvel durante a sua vida útil estimada, localizando e reparando eventuais deficiências que, com o passar do tempo, podem representar riscos para a segurança do imóvel e dos que o habitam ou frequentam.

A norma NBR 15575 (ABNT, 2021) define as partes do edifício em categorias de vida útil como:

- substituível: vida útil mais curta que o edifício, sendo sua substituição fácil e prevista na etapa de projeto;
- manutenível: são duráveis, mas necessitam de manutenção periódica, e são passíveis de substituição ao longo da vida útil do edifício;
- não-manutenível: devem ter a mesma vida útil do edifício por não possibilitarem manutenção.

Segundo a mesma norma, as manutenções e reposições ao longo da vida útil podem ser classificadas em categorias de acordo com o custo:

- baixo custo de manutenção;
- médio custo de manutenção ou reparação;
- médio ou alto custo de manutenção ou reparação; custo de reposição (do elemento ou sistema) equivalente ao custo inicial;

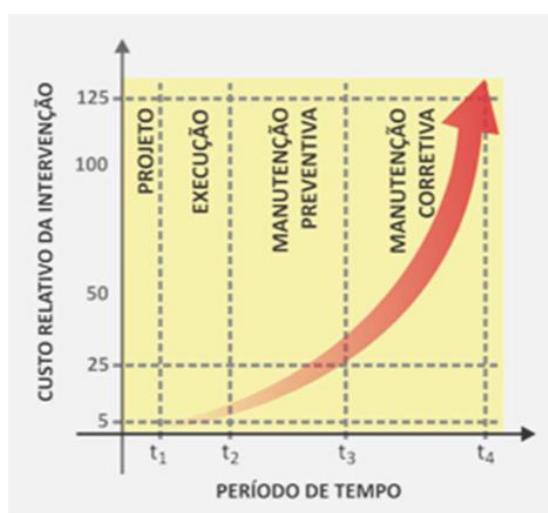
- alto custo de manutenção e/ou reparação; custo de reposição superior ao custo inicial; comprometimento da durabilidade afeta outras partes do edifício;
- alto custo de manutenção ou reparação; custo de reposição muito superior ao custo inicial.

Sendo as fachadas locais de elevada altura, sua manutenção se torna um processo caro e de difícil acesso. A necessidade de conservar as fachadas tem aspectos fundamentais, tanto em relação à estética do edifício quanto por questões econômicas, já que é mais vantajoso a conservação da edificação do que o seu reparo.

Quanto mais cedo forem previstos os danos na estrutura, mais fácil e econômica será a intervenção (TUTIKIAN ; PACHECO, 2013). Helene (1992) também afirma que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e mais baratas quanto antes forem executadas.

A realização de manutenções preventivas pode ter impacto significativo nos custos, sobretudo em relação às despesas geradas para corrigir um problema oriundo da falta de intervenção, em momento prévio à manifestação patológica, conforme pode ser percebido pela Lei de Sitter apresentada na Figura 5, onde os custos de correção crescem segundo uma progressão geométrica de razão cinco (Helene, 1992).

Figura 5 – Lei de Sitter



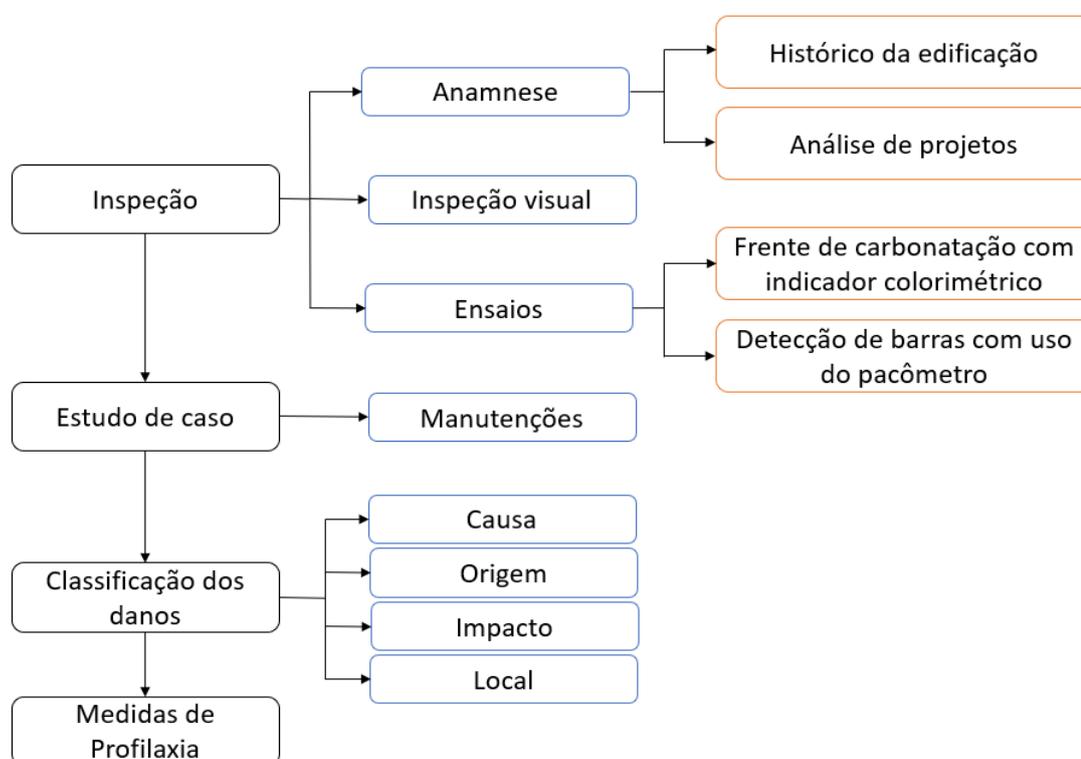
Fonte: Sitter (1984) apud Tutikian e Pacheco (2013, p.6).

Conforme exposto acima, uma correção na fase de projeto custaria o quádruplo se adotada durante a fase de execução. Esta, por sua vez, seria ainda mais onerosa se fosse adotada na fase seguinte. Os danos patológicos oriundos de uma manutenção inadequada, ou ainda pela falta dela, pode ter sua origem na falta de conhecimento técnico, falta de qualificação profissional ou ainda em problemas econômicos. A escassez de recursos para a manutenção preventiva pode ocasionar problemas estruturais de maiores proporções, implicando em gastos significativos ou ainda, em último caso, na própria demolição da estrutura (SOUZA; RIPPER, 2009).

3 METODOLOGIA

Os objetivos definidos no desenvolvimento deste trabalho foram atingidos através de um programa experimental dividido entre: anamnese, para analisar o histórico da edificação e análise dos projetos, inspeção visual e ensaios de frente de carbonatação e detecção de barras com uso do pacômetro, além de um estudo de caso analisando as manutenções efetuadas nas fachadas. A Figura 6 mostra um fluxograma do programa experimental.

Figura 6 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A edificação analisada foi o varejo da empresa Tramontina Farroupilha S/A Indústria Metalúrgica, localizada no município de Farroupilha – RS, às margens da RS-122 perto do entroncamento com a RS-453, local com diversas indústrias nas proximidades. O empreendimento foi inaugurado no ano de 2016, possui caráter comercial e apresenta uma estrutura de concreto pré-fabricado. A Figura 7 mostra a localização do edifício.

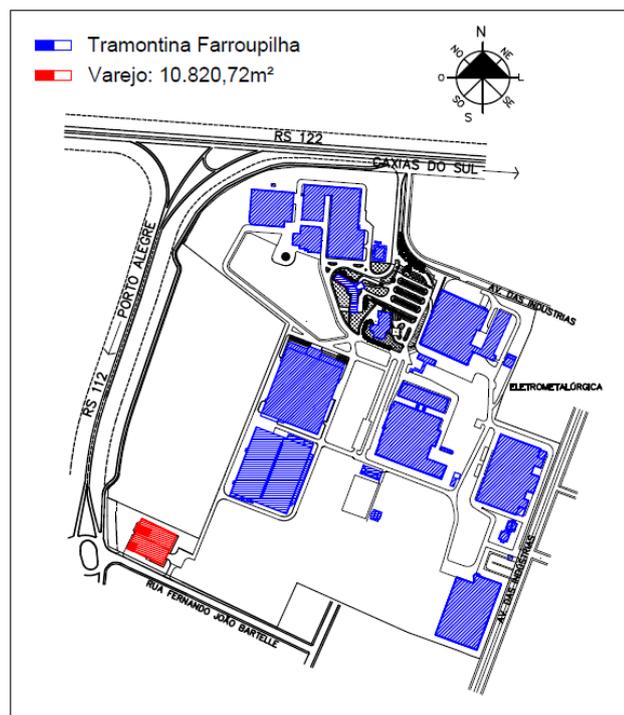
Figura 7 – Localização do edifício



Fonte: Google Earth.

Conforme a Figura 8, nota-se que, embora o empreendimento analisado faça parte de um conjunto de fábricas da mesma empresa, nele está localizada a parte de comércio dos produtos.

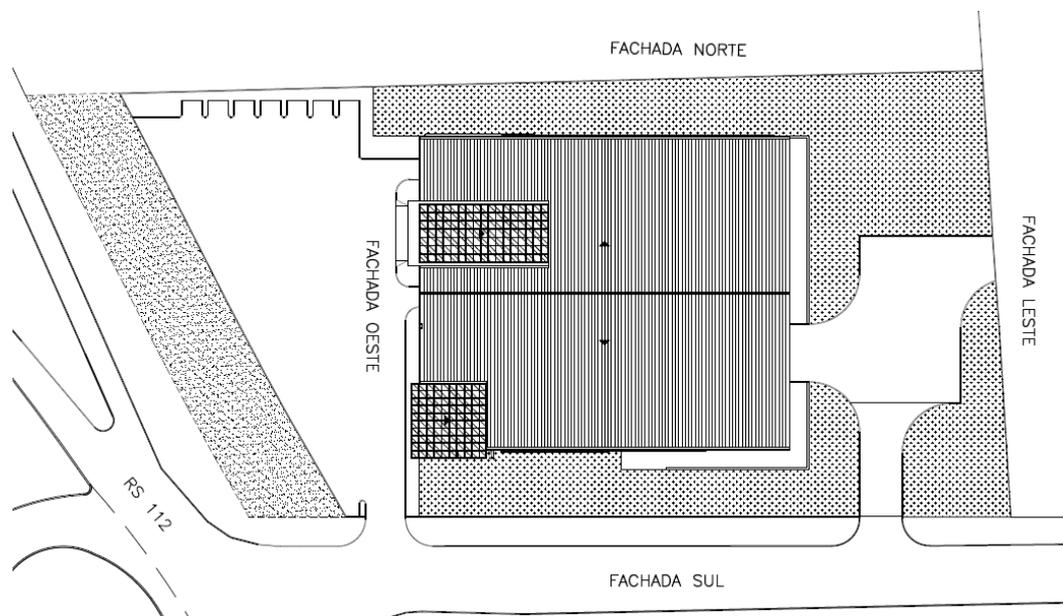
Figura 8 – Planta de situação



Fonte: Fornecido pela empresa, adaptado pela autora (2022).

Para identificação, adotou-se as principais orientações dos pontos cardeais das fachadas, conforme Figura 9.

Figura 9 – Planta de localização do varejo



Fonte: Fornecido pela empresa, adaptado pela autora (2022).

3.1 ANAMNESE

Para a anamnese, foi realizado um estudo dos procedimentos anteriores da estrutura, conversas com responsáveis, análise de projetos, verificação da vizinhança, além da definição dos locais para ensaios.

O empreendimento objeto deste estudo consiste em um varejo de comércio de produtos de uma indústria metalúrgica, composto por três pavimentos, onde no térreo localiza-se o estacionamento e recepção, no segundo pavimento a loja e no terceiro pavimento o depósito. O período de construção foi de agosto de 2014 até maio de 2016, com uma área total construída de 10.820,72 m², localizado em uma região industrial do município.

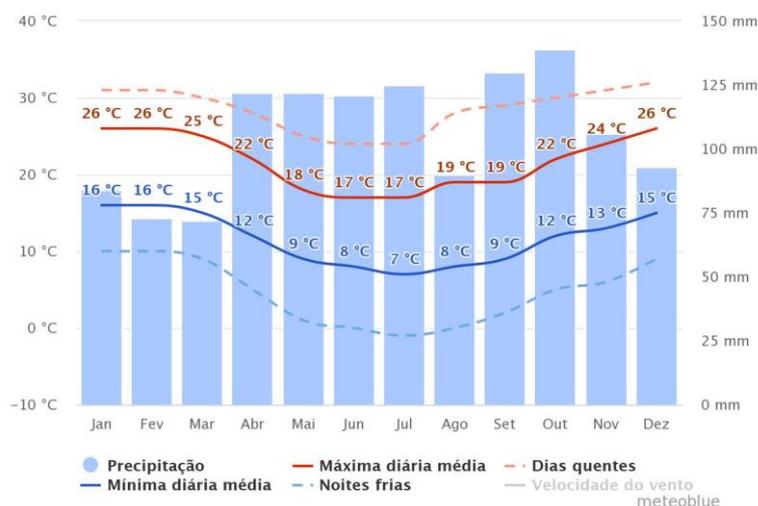
A vedação externa do edifício é constituída, assim como sua estrutura, de placas de concreto protendido pré-fabricadas com juntas de PU estrutural. Na fachada Oeste, são usadas placas de alumínio composto (ACM) sobre as placas pré-fabricadas, fixadas com estrutura metálica, além de ter detalhes em inox. Entre a fachada Oeste e a Sul, há uma parte em pele de vidro. As fachadas, com exceção da

parte em ACM, que é azul, são pintadas de preto. De acordo com o responsável técnico da empresa, todas as definições de projeto foram arquitetônicas.

3.1.1 Características do local

A cidade de Farroupilha, onde foi realizado o estudo, localiza-se na região da serra gaúcha, onde o verão é longo, morno e úmido e o inverno é curto e fresco, com temperatura variando em geral de 6 °C a 28 °C e raramente é inferior a 0 °C ou superior a 32 °C. Durante o ano inteiro, o tempo é com precipitação e de céu parcialmente encoberto. Ainda, é um local com grande variação sazonal na sensação de umidade. Na Figura 10, é apresentado um gráfico com as temperaturas médias, máxima e mínima de acordo com os meses, bem como a precipitação de chuvas.

Figura 10 – Gráfico de temperaturas médias e precipitação



Fonte: Meteoblue (2022).

A linha vermelha contínua mostra a temperatura máxima diária média por mês. Da mesma forma, a linha azul contínua mostra a média da temperatura mínima.

3.1.2 Histórico da edificação

Dentre os procedimentos de anamnese, primeiramente foi analisado o histórico da edificação, buscando-se informações de antecedentes de manifestações patológicas na estrutura, idade, procedência dos materiais constituintes,

características construtivas, quando se observou o início dos problemas, manutenções e reparos anteriores, níveis de tensão de trabalho da estrutura, eventuais mudanças de uso, entre outros fatores identificados como importantes. A empresa possui um Engenheiro Civil responsável pela coordenação das construções e manutenções, o qual forneceu as informações necessárias.

3.1.3 Análise de projetos e características da edificação

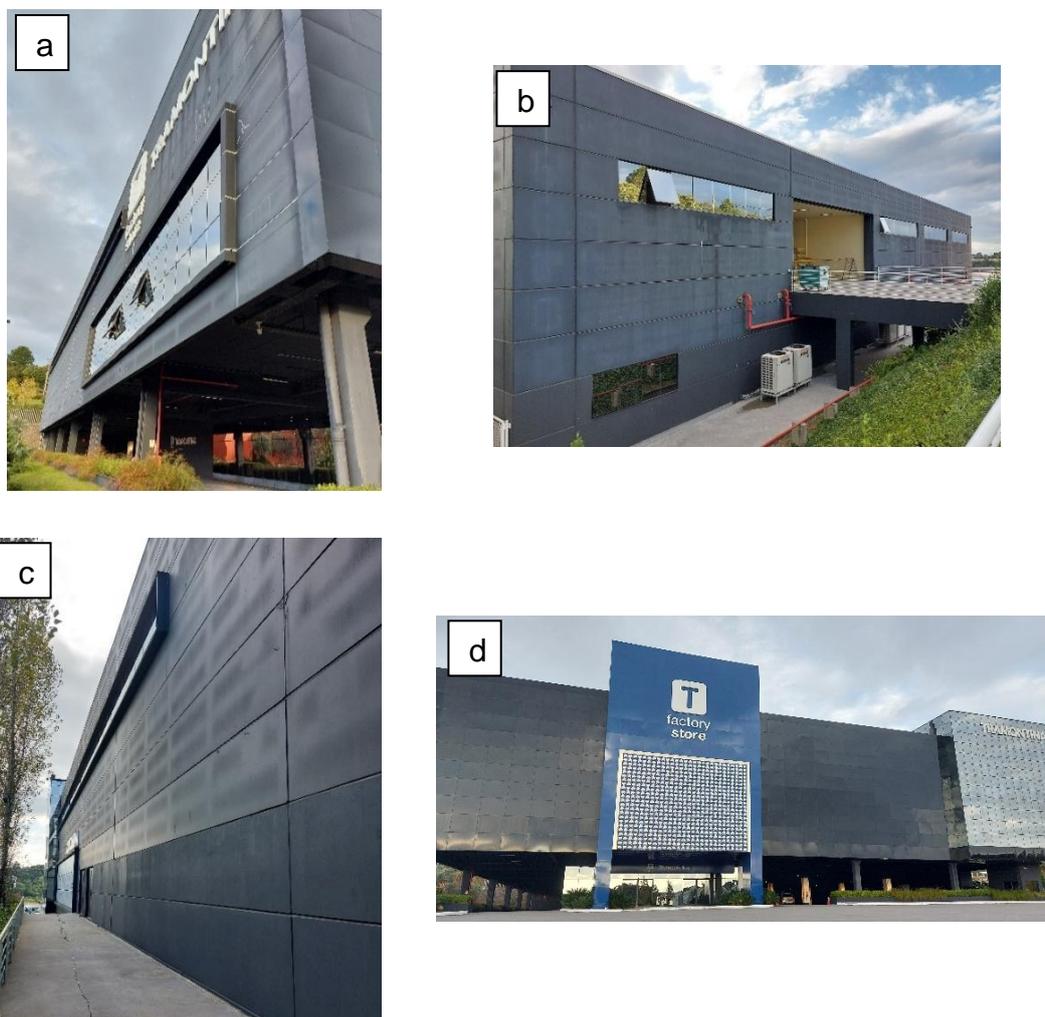
A fim de identificar como a estrutura funciona e analisar possíveis pontos de fragilidade, foram examinados os projetos da construção fornecidos pela empresa. Os projetos disponibilizados foram o arquitetônico e estrutural. Os detalhes do projeto estrutural das placas de concreto não foram disponibilizados por ser um projeto de domínio do fornecedor. Os painéis de vedação externa são em concreto protendido e têm 10,80 m de comprimento, 1,25 m de altura e 25 cm de espessura, com juntas de dilatação de 3 cm entre eles, em PU estrutural. As esquadrias são de grandes dimensões. A cobertura possui rufos fixados com chumbadores, as telhas em sistema sanduíche com isolamento termoacústico em manta de lã de vidro e pontos de recolhimento de água pluvial, com vigas calha ao redor, para garantir estanqueidade à água.

A estrutura é toda em pré-fabricado, com vigas I, pilares, laje nervurada, e placas para fechamento. A parte em ACM é fixada com estrutura metálica nas placas. A altura do chão até o ponto mais alto possui 19,3 metros, além de ter a parte Leste com o terreno em corte. A tinta utilizada foi acrílica premium na cor preta, por definição com base em testes e escolhida pela relação custo-benefício.

O empreendimento possui 3 andares, sendo o primeiro com estacionamento aberto e uma parte de recepção. No segundo andar encontra-se a loja e um café, e no terceiro andar situa-se o depósito e área de funcionários. Na parte de trás (Leste), localiza-se a área de carga e recebimento.

Nas figuras a seguir são mostradas as fachadas analisadas.

Figura 11 – Fachadas do edifício



Fonte: Registrado pela autora (2022).

Legenda: a) Fachada Norte b) Fachada Leste c) Fachada Sul d) Fachada Oeste.

Conforme nota-se nas imagens acima, a fachada Oeste é a parte de entrada do edifício, sendo revestida em ACM, diferentemente das demais fachadas, que contam apenas com a pintura sobre as placas pré-fabricadas. As imagens apresentadas são de abril de 2022.

3.2 INSPEÇÃO

O principal objetivo da inspeção é realizar um mapeamento das manifestações patológicas, para posterior análise dos dados referentes à durabilidade da edificação e possíveis intervenções. Foi realizada inspeção visual e, para complementar as

informações, foram realizados ensaios de verificação da frente de carbonatação com indicador colorimétrico e verificação do cobrimento com pacômetro.

A avaliação consiste na constatação da situação da edificação quanto a sua capacidade de atender suas funções, com registro das anomalias, falhas de manutenção, uso e operação e manifestações patológicas identificadas nos diversos componentes da edificação.

3.2.1 Inspeção visual

Na inspeção visual, foram identificados alguns danos, no exterior da edificação, com enfoque nos painéis pré-fabricados das fachadas, conforme registro fotográfico. A inspeção predial, bem como os ensaios, ocorreu no dia 01 de abril de 2022, no turno da tarde, das 15:00h às 17:30h. No dia, a temperatura ambiente era de 17°C com umidade relativa do ar de 59%.

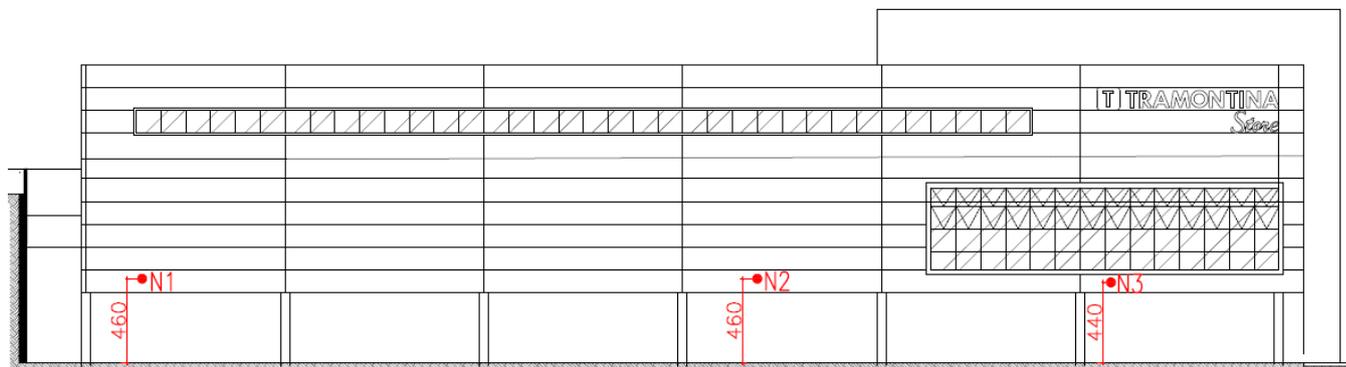
A realização da inspeção foi realizada cuidando aspectos como posição em relação ao sol, umidade e clima no dia de análise. A fachada Norte é a que mais recebe radiação solar. Devido à altura, os pontos avaliados não puderam ser muito elevados.

3.2.2 Ensaios

Juntamente com a inspeção visual, foram realizados ensaios para verificação da frente de carbonatação com indicador colorimétrico e pacometria, para investigação mais detalhada da durabilidade da estrutura. Inicialmente foi realizada a pacometria, para localizar as barras de aço e seu cobrimento, para posterior realizar o ensaio de carbonatação, cuidando para realizar os furos onde não havia armadura.

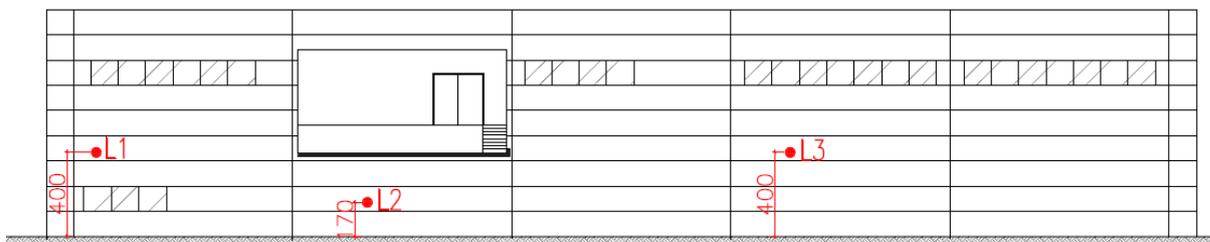
Nas imagens abaixo, são mostrados os pontos de ensaio bem como suas alturas, em centímetros, em relação ao piso.

Figura 12 – Pontos de ensaio (Norte)



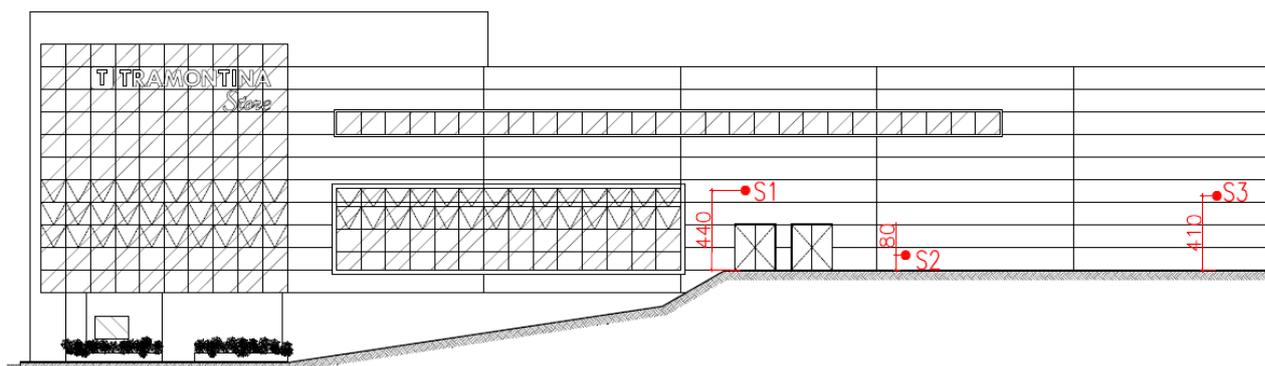
Fonte: Fornecido pela empresa, adaptado pela autora (2022).

Figura 13 – Pontos de ensaios (Leste)



Fonte: Fornecido pela empresa, adaptado pela autora (2022).

Figura 14 – Pontos de ensaio (Sul)



Fonte: Fornecido pela empresa, adaptado pela autora (2022).

A seguir, estão detalhados os procedimentos dos ensaios realizados.

3.2.2.1 Detecção de barras

A detecção de barras foi feita através de um pacômetro, sendo utilizado o equipamento Wallscanner D-tect 150 da Bosch, conforme Figura 15.

Figura 15 – Pacômetro utilizado



Fonte: Registrado pela autora (2022).

Para utilizá-lo, posiciona-se o instrumento sobre a superfície a qual se deseja analisar, movimentando-o no sentido perpendicular onde as barras se encontram, fazendo o caminho de ida e volta com o aparelho firme na superfície e controlando a velocidade. Quando o dispositivo detecta alguma barra, é emitido um aviso sonoro e óptico, indicando no visor o material, o cobrimento e o eixo da armadura.

Marcou-se na superfície, com um giz, a localização das armaduras no painel, para facilitar a furação no ensaio de carbonatação, realizado nos mesmos locais onde previamente mediu-se o cobrimento. Foi realizado em três locais cada fachada, com exceção da fachada Oeste que não foi analisada. Anotou-se o cobrimento de três barras por local, e posteriormente calculou-se a média. A Figura 16 mostra a utilização do pacômetro para obtenção do cobrimento e para localização das armaduras.

Figura 16 – Procedimento com detector de barras



Fonte: Registrado pela autora (2022).

3.2.2.2 Verificação de frente de carbonatação com fenolftaleína

Para a realização dos ensaios de verificação de carbonatação, foi utilizado um indicador colorimétrico de solução de fenolftaleína, aspergindo no pó de concreto coletado em sacos plásticos através de furos realizados nos painéis com furadeira, visto que não era possível extrair corpos de prova do local. Este componente varia a coloração conforme o pH do material que entra em contato, onde em fragmentos carbonatados, o líquido permanece incolor, já onde não tem presença de carbonatação, sua coloração muda para magenta. A Figura 17 mostra o procedimento da extração das amostras, com auxílio de furadeira.

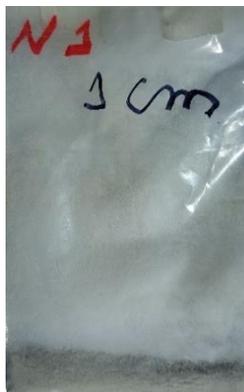
Figura 17 – Procedimento de extração das amostras



Fonte: Registrado pela autora (2022).

As amostras foram separadas por pontos cardeais, sendo que os ensaios foram realizados nas fachadas Norte (N), Sul (S) e Leste (L). Foram realizados 3 furos em cada fachada, nos pontos já previamente localizados através do ensaio de pacometria. Para controle, o pó de concreto foi coletado em sacos plásticos e as amostras foram identificadas com a letra do ponto cardinal da fachada, o número da amostra e a profundidade da extração, conforme Figura 18.

Figura 18 – Identificação das amostras



Fonte: Registrado pela autora (2022).

As profundidades analisadas foram de 5 mm e 10 mm, com exceção das primeiras amostras coletadas, N1 e N2 da fachada Norte, que foram realizadas com 10 mm e 20 mm. Diminuiu-se as espessuras por notar-se que em tal profundidade as amostras não estavam carbonatadas, mesmo motivo pelo qual só foram realizadas duas profundidades.

3.3 MANUTENÇÕES REALIZADAS NA FACHADA

Como a edificação já passou por algumas manutenções de sua estrutura, foram analisados os procedimentos feitos. Na empresa há um Engenheiro Civil responsável por controlar as construções e as manutenções necessárias.

Em seguida, estão algumas perguntas realizadas ao responsável pelas manutenções e no capítulo 4.4 estão apresentadas as respostas obtidas bem como sua análise.

- a) Há uma periodicidade de manutenções ou somente em casos de demanda?
- b) Como foi verificada a necessidade de manutenção?
- c) Quem realiza a inspeção?
- d) As manutenções são realizadas por funcionários da empresa ou por empresa terceirizada?
- e) O que foi detectado com a inspeção?
- f) Quais as medidas a serem adotadas segundo o laudo?

- g) Quais as manutenções já realizadas nas fachadas e em qual parte?
- h) Como foi o procedimento de troca das juntas?
- i) Teve alguma necessidade de equipamentos?

Tal entrevista foi realizada na data de 26 de outubro de 2021, quando foram acompanhadas algumas das manutenções realizadas, juntamente com o responsável técnico. Ainda, após a inspeção em abril de 2022, foi realizada uma nova visita ao local no dia 07 de maio de 2022 para verificar a edificação após o processo de pintura.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS

Para classificar os danos, foram descritos os tipos de danos observados na inspeção visual e analisou-se possíveis causas e origens, qual o impacto gerado sobre a edificação, se apenas estético e/ou estrutural, funcional, entre outros, além do local em que se percebeu, mencionando-se a fachada em que cada dano foi notado.

Após catalogar as manifestações patológicas encontradas, definiu-se qual o critério de urgência de intervenção conforme prioridades descritas na NBR 16747 (ABNT, 2020), onde a prioridade 1 é a mais urgente e a prioridade 3 a menos urgente.

3.5 PROFILAXIA

Para complementar o estudo, foram mencionadas algumas medidas para evitar o aparecimento de manifestações patológicas, medidas as quais são chamadas de profilaxia. As recomendações levam em consideração as causas e origens previamente verificadas na estrutura, bem como algumas descritas na norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo apresenta inicialmente os danos verificados por inspeção visual, em seguida a análise da frente de carbonatação, cobertura, análise das manutenções, catalogação dos danos e recomendações de medidas de profilaxia.

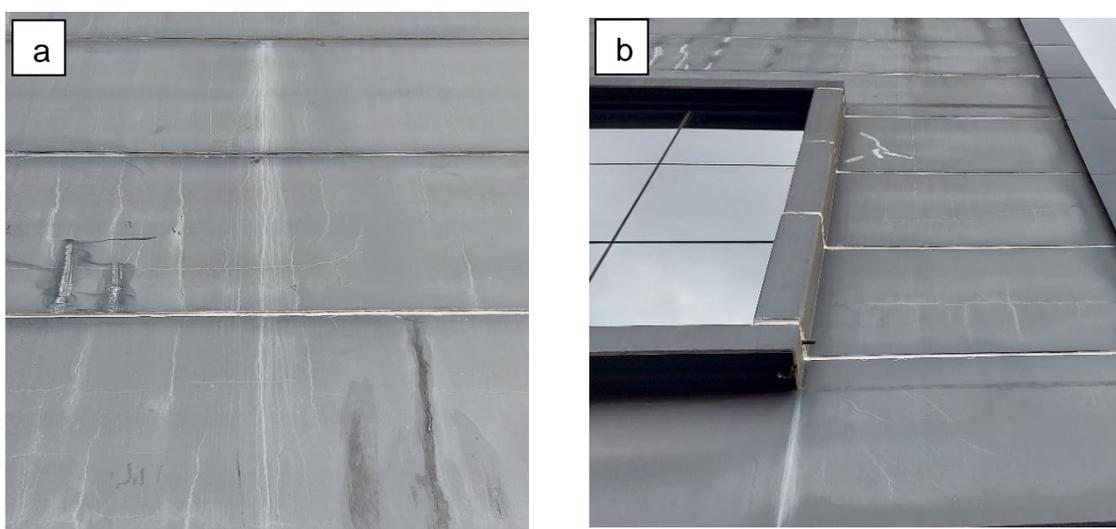
4.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

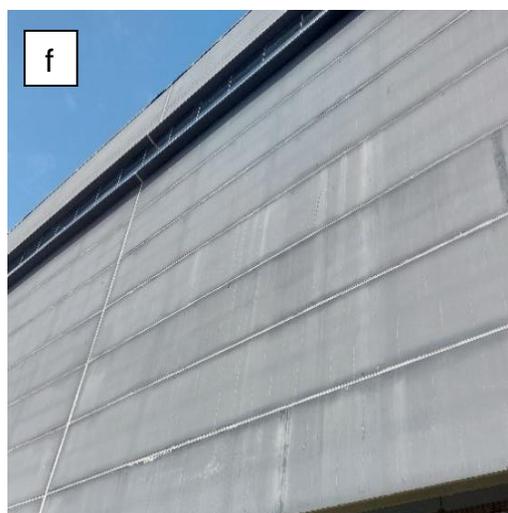
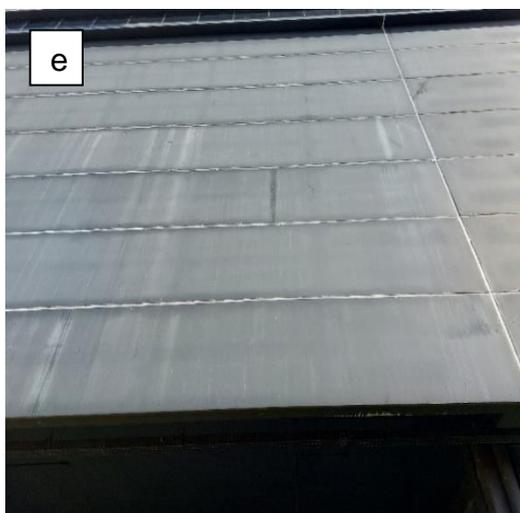
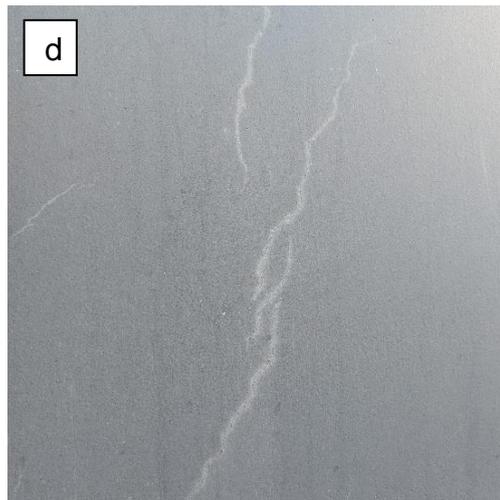
As manifestações patológicas seguem apresentadas conforme a fachada em que foram identificadas através de inspeção visual.

4.1.1 Fachada Norte

A Figura 19 inicia a apresentação dos danos verificados na fachada Norte do empreendimento.

Figura 19 – Manifestações Patológicas (Norte)





Fonte: Registrado pela autora (2022).

Conforme pode-se perceber, na fachada Norte foram constatados os seguintes danos:

- a. Eflorescência (Figura 19a, 19b, 19e, 19f): nota-se pelas manchas brancas a ocorrência de eflorescência do carbonato de cálcio presente nos materiais cimentícios, decorrente da lixiviação do hidróxido de cálcio, dano patológico dependente da presença intensa de umidade para sua aparição.
- b. Manchas de umidade (Figura 19c, 19f): manchas foram percebidas no sentido de escoamento da água na fachada, iniciando nas juntas e esquadrias.
- c. Fissuras (Figura 19c, 19d): observadas pequenas fissuras na pintura, podendo ser decorrentes da intensa radiação solar característica da fachada Norte, e retração por processos de secagem e molhagem.

- d. Descoloração (Figura 19f): pintura desbotada foi percebida ao longo da fachada, por receber bastante radiação solar em cor escura, ou ainda, manchada em decorrência da eflorescência.

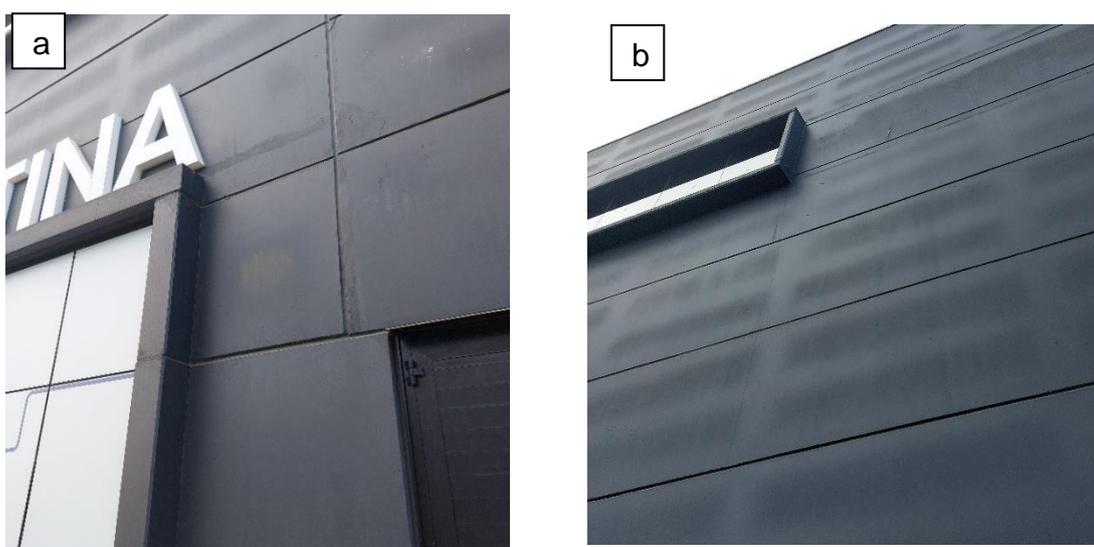
Alguns pontos podem ser levantados em relação a tais danos, tais como, a significativa incidência de luz solar na edificação, o que poderia atuar mitigando a umidade permanente nas placas, porém, ainda assim, perceberam-se danos com a presença de eflorescências e manchamento. Junior e Barbosa (2019), avaliando a fachada de diversas edificações, constataram que os danos patológicos de maior ocorrência eram a formação de fissuras e manchas. Conforme observado por Breitbach (2009), as cores escuras absorvem mais radiação, provocando maiores danos em termos da conservação da pintura.

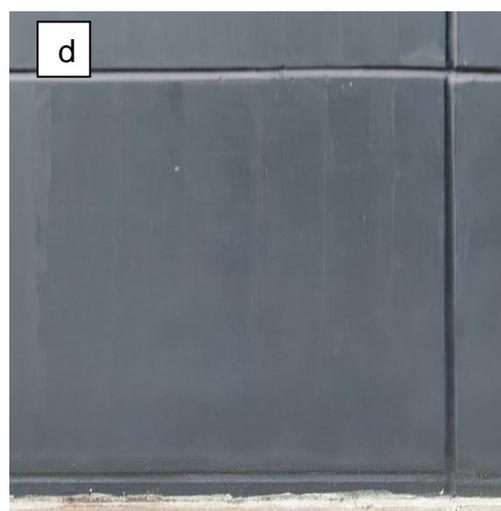
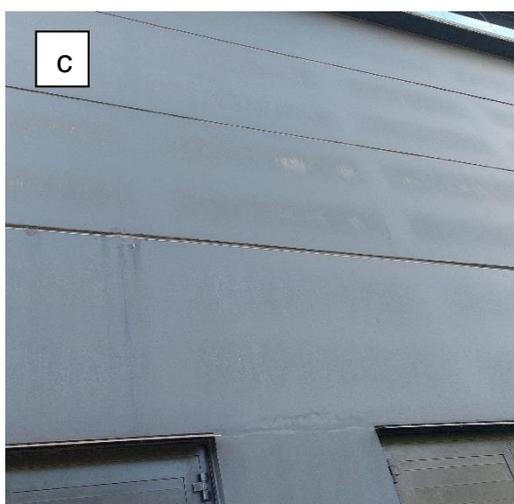
De acordo com Ribeiro et al (2017), para que a eflorescência ocorra, deve haver presença de água, sendo a causa do fenômeno, a presença higroscopia e por capilaridade.

4.1.2 Fachada Sul

A Figura 20 inicia a apresentação dos danos verificados na fachada Sul do empreendimento.

Figura 20 – Manifestações Patológicas (Sul)





Fonte: Registrado pela autora (2022).

Conforme pode-se perceber, na fachada sul foram verificados os seguintes danos:

- a) Manchas de umidade (Figura 20b, 20d, 20e): manchas foram percebidas no sentido de escoamento da água na fachada, assim como em proximidade com o solo. O aparecimento das manchas se dá através da saturação da água nos materiais expostos à umidade.
- b) Desgaste do concreto (Figura 20a, 20c): próximos nas regiões das esquadrias e juntas, nota-se o deslocamento de pequenas áreas de concreto.
- c) Fissuras (Figura 20f): algumas fissuras podem ser observadas nas regiões de esquadrias.

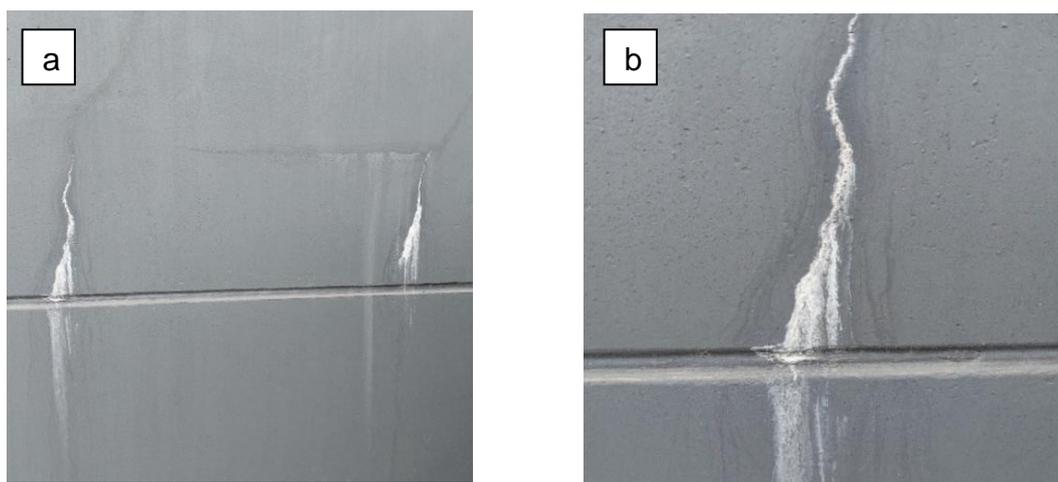
A fachada sul, em relação à sua posição solar, pode proporcionar um maior acúmulo de umidade na sua superfície, e em fachadas regulares, sem elementos de moldura, ou que possam favorecer o escoamento de água de chuvas, pode haver uma maior permanência de água, causando mais danos e manchamento. Silva (2007) pontuou a influência da reduzida presença de sol nessa fachada e sua relação com os danos patológicos verificados.

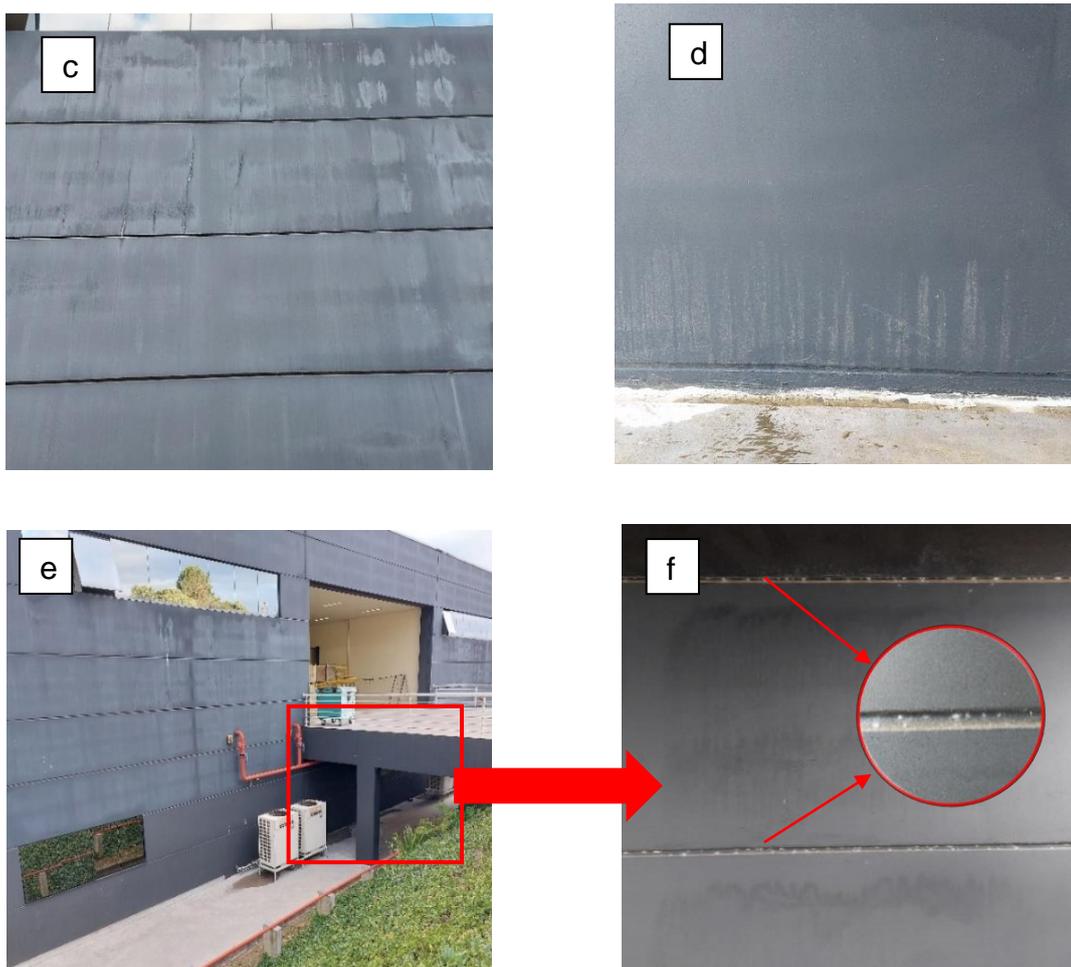
Foi observado a presença de fissuras nas regiões superiores e próximas às juntas e esquadrias da edificação nesta posição. Tal dano pode ser decorrente das grandes dimensões da esquadria, além do acúmulo de águas nestas regiões. Silva (2014) verificou que os cantos e extremidades são regiões críticas das edificações. Tem-se assim, que tais danos também podem ser causados pela falta de reforço nestas áreas. Através dos projetos disponibilizados e analisados, não foi possível verificar a presença ou não de reforços nas regiões de esquadrias.

4.1.3 Fachada Leste

A Figura 21 inicia a apresentação dos danos verificados na fachada Leste do empreendimento.

Figura 21 – Manifestações Patológicas (Leste)





Fonte: Registrado pela autora (2022).

Conforme pode-se perceber, na fachada leste foram constatados os seguintes danos:

- a) Eflorescência (Figura 21a e 21b): percebe-se pelas manchas brancas a ocorrência de eflorescência do carbonato de cálcio presente nos materiais cimentícios, decorrente da lixiviação do hidróxido de cálcio, dano patológico dependente da presença intensa de umidade para sua aparição. Nota-se a intensidade com que tal fenômeno ocorreu pelo depósito de produto esbranquiçado na superfície.
- b) Manchas de umidade (Figura 21c, 21d, 21e e 21f): manchas foram percebidas no sentido de escoamento da água na fachada, assim como embaixo de esquadrias e juntas, por serem locais de acúmulo de água. Pode-se nesse ponto ter havido influência da planicidade da fachada, sem elementos que favorecessem o escoamento de água para fora do

plano. Tais detalhes exercem influência nos parâmetros de durabilidade, conforme pontuado por Brites et al (2017).

- c) Mofo (Figura 21f): percebe-se a presença de mofo nas juntas de dilatação, notadamente em local que não recebe sol.

Os danos verificados nesta fachada são decorrentes da intensa presença de umidade, posto que se trata de uma região que não recebe muito sol. As fachadas sofrem influência das ações climáticas em diferentes graus de intensidade e frequência, variando de acordo com as propriedades higrotérmicas dos componentes e das variações cíclicas e sazonais, sendo a água e a incidência solar os agentes climáticos que mais interferem (ZANONI, 2015). Foram observados diferentes danos em distintos locais desta fachada, e segundo Bauer et al (2015), a degradação das fachadas não ocorre de forma uniforme pois as condições de exposição são diferentes.

4.2 VERIFICAÇÃO DO COBRIMENTO

Como não se obteve informações do cálculo estrutural dos painéis, hipóteses de como poderiam ter sido classificados e seus respectivos cobrimentos foram criadas, conforme Tabela 10. Sabe-se que os painéis de concreto pré-fabricado nas fachadas são em concreto protendido, não tendo uma classificação específica para eles, podendo ser considerados como pilares parede devido a sua exposição, ou como laje, devido a sua geometria. Em relação a classe de agressividade ambiental, poderia ter sido considerado em área industrial, ou em área urbana, visto que embora a edificação esteja em uma área industrial, o processo fabril não lhe causa danos.

Tabela 10 – Hipóteses de classificação da estrutura e respectivos cobrimentos

	Urbano	Industrial
	Cobrimento nominal (mm)	
Laje	30	40
Pilar parede	35	45

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), para pilares em concreto protendido na CAA II, em área urbana, o cobrimento nominal mínimo é de 35mm, já para a CAA III, em área industrial, o cobrimento nominal mínimo é de 45 mm. Por outro lado, para

lajes em concreto protendido, na CAA II o cobrimento nominal mínimo é de 30mm e para a CAA III o cobrimento nominal mínimo é de 40 mm. Os cobrimentos têm tolerância de execução de 5 mm, com cobrimento mínimo de 25 mm para concreto protendido.

Vale ressaltar que a utilização do detector de barras (pacômetro) pode nem sempre ser precisa e exata para aferição do cobrimento, podendo apresentar falhas devido a quantidade de barras. A Tabela 11 apresenta os valores de cobrimento encontrados com o detector de barras nos pontos analisados, bem como a média.

Tabela 11 – Cobrimentos encontrados (mm)

Posição	Cobrimento (mm)			Média (mm)	Média por Fachada (mm)	Média Total (mm)
N1	28	30	33	30		
N2	26	24	23	24	26	
N3	22	26	21	23		
S1	26	28	30	28		
S2	22	24	30	25	26	25
S3	22	27	28	26		
L1	19	24	25	23		
L2	25	26	23	25	23	
L3	23	21	23	22		

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Avaliando os valores obtidos, o cobrimento médio das placas medidas foi de 25 mm, atendendo a hipótese de lajes em área urbana, com a tolerância de 5 mm aplicada. As outras hipóteses não atingiram o necessário por esta versão da norma, porém, atende ao cobrimento mínimo especificado para concreto protendido. Como não foi obtido acesso aos projetos das placas pré-fabricadas, não se sabe informações dos cobrimentos, nem se foram feitos ensaios para definição e comprovação da durabilidade, conforme especificado na NBR 9062 (ABNT, 2017). Por outro lado, sabe-se que para sua produção é exigido controle de qualidade, onde provavelmente foram atendidos os requisitos necessários.

Na versão antiga desta mesma norma, publicada em 2006, a especificação era de que para peças de concreto com f_{ck} mínimo de 25 MPa e consumo mínimo de cimento de 400 kg/m³ de concreto e fator água/cimento menor ou igual a 0,45, qualquer que fosse a armadura, o cobrimento mínimo deveria ser de 15 mm para lajes e placas de vedação não estruturais e elementos construtivos sujeitos a cargas até 3

kN/m² ao ar livre, e de 20 mm para vigas, pilares e placas de vedação estruturais ao ar livre. Já para concretos com resistência menor do que 25 MPa, aplica-se o determinado na NBR 6118 (ABNT, 2014). Como a edificação analisada foi inaugurada em 2016, o projeto foi realizado com a norma em vigor na época, ou seja, o cobrimento estaria de acordo com a norma NBR 9062 (ABNT, 2006).

A espessura do cobrimento é fundamental para proteger a armadura e de acordo com Pacheco (2016), o cobrimento poderia variar nas classes de agressividade ambiental em função das classes e características do concreto, como resistência à compressão, relação água/cimento e consumo de cimento, sem prejudicar a proteção da armadura. Tais parâmetros deveriam ser flexibilizados por norma, assim seria possível diminuir o cobrimento com concretos mais resistentes.

4.3 VERIFICAÇÃO DE FRENTE DE CARBONATAÇÃO

A Tabela 12 apresenta os pontos onde foi verificada a presença ou não de carbonatação, bem como a altura em relação ao piso do local e a cor observada. As fotos das amostras foram retiradas logo após a aspensão da fenolftaleína, apresentadas no Apêndice A.

Tabela 12 - Carbonatação

Posição	Profundidade (mm)	Altura do ponto (cm)	Cor
N1	10	440	Magenta
	20		
N2	10	455	
	20		
N3	5	460	
	10		
S1	5	440	
	10		
S2	5	80	
	10		
S3	5	410	
	10		
L1	5	400	
	10		
L2	5	170	
	10		
L3	5	400	
	10		

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Conforme verificado pelo ensaio, não há presença de carbonatação em nenhuma amostra. Considerando o cobrimento médio obtido, pode-se prever que a durabilidade do material será satisfatória, uma vez que a frente de dano ainda não foi percebida. Deve-se considerar, porém, que, segundo Helene (2014), a carbonatação costuma ocorrer em idades mais avançadas e, portanto, é recomendável que novas inspeções possam ser realizadas.

De acordo com Lapa (2008), com umidade relativa do ar de 60% se atinge o grau de carbonatação máximo, sendo a umidade do ar no dia do ensaio de 59%. Além disso, a qualidade do concreto é fundamental na influência da penetração de CO₂ na estrutura, bem como a pintura do edifício pode ter auxiliado na proteção. Como já foi destacado anteriormente, os concretos pré-fabricados são moldados de forma industrial, com rigoroso controle de qualidade.

4.4 ANÁLISE DAS MANUTENÇÕES JÁ REALIZADAS

Neste capítulo estão apresentadas as respostas obtidas do responsável técnico das manutenções sobre as perguntas realizadas em outubro de 2021, conforme capítulo 3.3 em relação às manutenções, assim como comentários.

- a) Há uma periodicidade de manutenções ou somente em casos de demanda?

“As manutenções são realizadas na estrutura conforme a necessidade avaliada, por empresas terceirizadas, não tendo uma periodicidade fixa.” Como tem um Engenheiro Civil responsável por gerenciar as obras, há um controle frequente das demandas necessárias.

- b) Como foi verificada a necessidade de manutenção?

“Como notou-se infiltração pela parte interna da edificação, foi necessário solicitar inspeção para identificar os focos de infiltração e analisar possíveis reparos.”

- c) Quem realiza a inspeção?

“A inspeção foi realizada pela empresa responsável pelos pré-fabricados, por solicitação da Tramontina, a qual emitiu laudo técnico com informações referentes aos focos de infiltração e sugestão de reparos.”

- d) As manutenções são realizadas por funcionários da empresa ou por empresa terceirizada?

“As manutenções das construções geralmente são realizadas por empresas terceirizadas, exceto algumas manutenções pontuais de menor tamanho.”

e) O que foi detectado com a inspeção?

“A vistoria foi realizada em junho de 2021. Foram realizadas duas vistorias, uma em dia de sol e outra em dia chuvoso. As falhas encontradas pela empresa contratada foram:

- falhas em rufos;*
- falhas na vedação das esquadrias ocasionando acúmulo de água;*
- falha na vedação de painel da fachada;*
- fissuras em painéis fachada norte;*
- fissuras em painéis fachada sul.”*

f) Quais as medidas a serem adotadas segundo o laudo?

“No mesmo laudo, foi recomendada a realização de manutenção da fachada, sendo:

- vedação de esquadrias;*
- vedação de calhas e rufos;*
- reparo pontual dos trechos de fachada - trechos com fissuras e deslocamento do concreto.”*

g) Quais as manutenções já realizadas nas fachadas e em qual parte?

“Com base no laudo emitido, foi realizada uma manutenção corretiva das fachadas em outubro de 2021, realizando a troca das juntas de dilatação apenas na fachada Norte, onde há maior incidência de luz solar danificando o material, limpeza dos detalhes em inox na fachada de entrada bem como troca dos adesivos na parte em ACM, por já estarem desgastados, e vedação das esquadrias. Além disso, está prevista para abril de 2022, pintura de todas as fachadas.”

h) Como foi o procedimento de troca das juntas?

“Foi retirado uma parte de concreto ao redor das juntas onde foi identificado infiltração, para poder removê-las. Após foi realizado uma limpeza do local e foi inserido novo material. Em seguida, foi aplicado selante e os espaços onde tinha sido retirado concreto foram preenchidos com graute.”

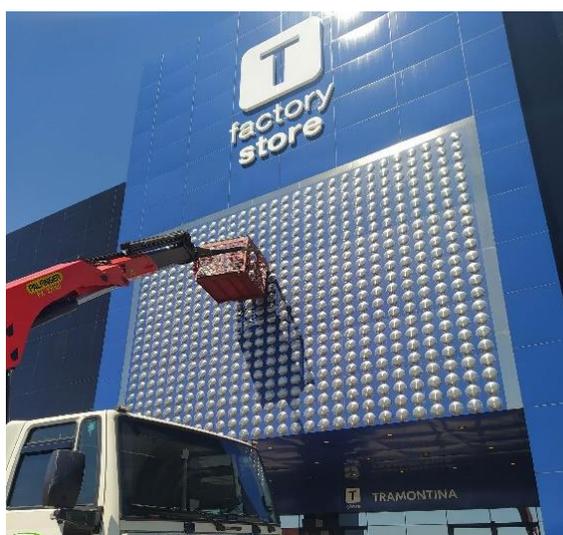
i) Teve alguma necessidade de equipamentos?

“Para a manutenção, foi necessário providenciar acesso (remoção de paisagismo, preparo de camada de suporte) à fachada norte, no qual não havia

possibilidade de acesso com auxílio de plataforma articulada ou caminhão munck, já que foi necessário efetuar a manutenção em elevadas alturas.”

Foram acompanhadas as manutenções de troca de juntas e limpeza realizadas em outubro de 2021, registrando antes e depois. Na Figura 22 é possível observar a limpeza dos detalhes da fachada Oeste com auxílio de caminhão.

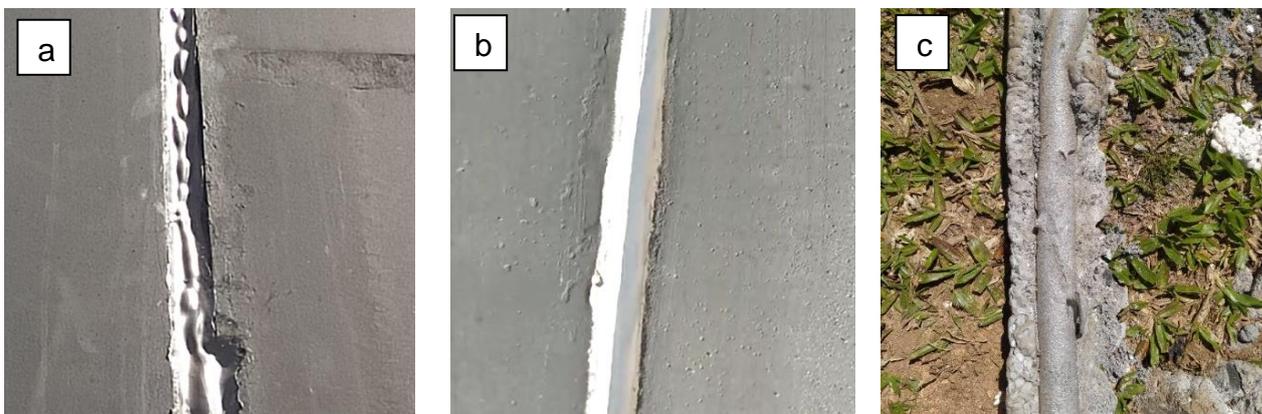
Figura 22 – Limpeza da fachada



Fonte: Registrado pela autora (2021).

Na Figura 23, observa-se o a) antes e b) depois da troca das juntas, além do c) material retirado.

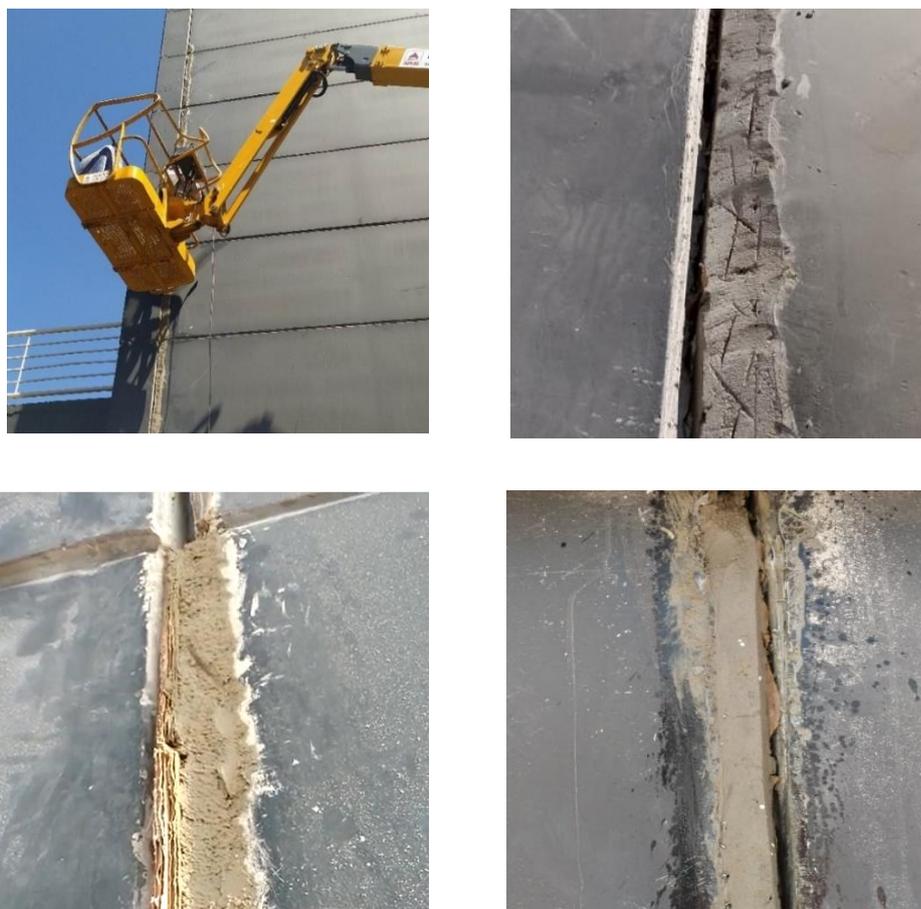
Figura 23 – Juntas de dilatação



Fonte: Registrado pela autora (2021).

Como foi mencionado pelo Engenheiro, para tal manutenção, foi retirado o concreto ao redor das juntas para poder removê-las. Após limpeza, foi inserido novo material e selante, bem como aplicado preenchimento dos espaços de concreto. Tal processo pode ser observado nas imagens a seguir.

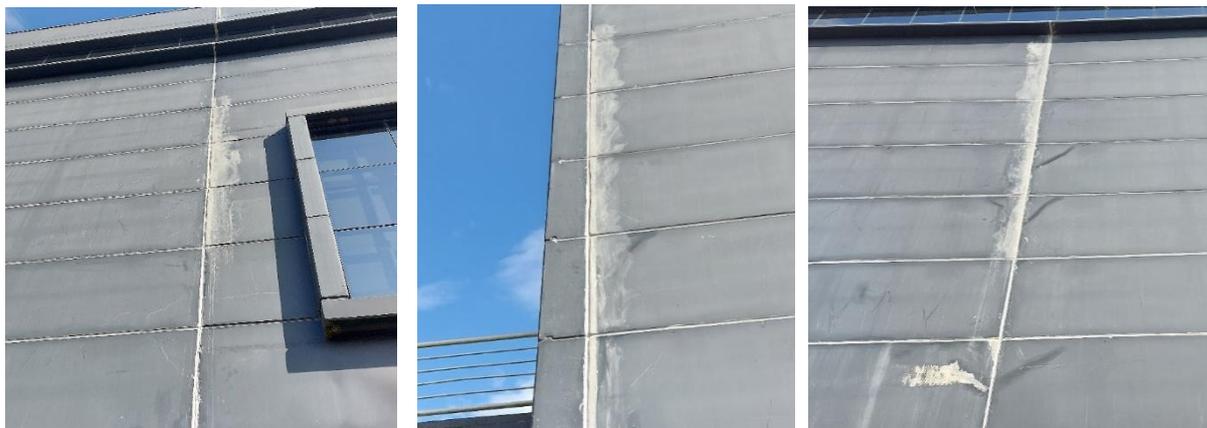
Figura 24 – Processo de troca das juntas



Fonte: Registrado pela autora (2021).

Nas imagens abaixo, é possível observar os locais de reparo, após as juntas serem trocadas na fachada Norte.

Figura 25 – Após troca das juntas



Fonte: Registrado pela autora (2022).

Conforme já observado por Silva (2014), as regiões de juntas apresentam elevados índices de degradação, possivelmente devido às tensões provocadas nestas regiões. Bauer et al. (2011) também analisando estas regiões, afirma que tais danos podem estar associados com infiltração de água, conduzindo a uma perda de adesão. Vale ressaltar que as juntas apenas apresentaram infiltração na fachada Norte devido a intensa radiação solar. Caso as juntas não tivessem sido trocadas, o processo de infiltração continuaria e poderia agravar o caso, gerando risos de depreciação do patrimônio. A correção dos problemas nas juntas pode ser considerada como um reparo, já que foi realizada a recuperação localizada de um problema.

Após a inspeção em abril, foi realizada uma nova visita ao local em maio para verificar a edificação após pintura, conforme Figura 26.

Figura 26 – Edificação após pintura



Fonte: Registrado pela autora (2022).

Como percebe-se, a pintura foi realizada com uma cor mais clara (cinza), visto que a cor anterior (preto) degradou muito. Nota-se que os danos patológicos identificados durante a inspeção, como manchas de umidade e eflorescência, foram corrigidos. A pintura foi uma terapia, utilizada como medida para neutralizar o fenômeno, devolvendo desempenho e qualidade à estrutura.

Destaca-se a importância de manutenções como a pintura, porém deve-se realizar inspeções periódicas, cuidando o aparecimento de novos sintomas. Somente a pintura pode não solucionar o problema, mas apenas mitigar e esconder; o que pode acarretar a deterioração do concreto, internamente (GONÇALVES, 2003). Cabe destacar que deve-se definir e corrigir as causas do problema.

De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019), a prevenção se dá através de manutenções periódicas, como exemplo as pinturas e limpeza, fazendo com que a vida útil da estrutura seja conservada ou até prolongada. Para mitigar o envelhecimento, alguns aspectos como a escolha dos materiais, execução de detalhes construtivos, planejamento e realização de manutenções podem influenciar no aumento da vida da edificação (GASPAR, 2009). Mesmo com as especificações em norma, as definições em projeto são complexas, visto que os requisitos de durabilidade atribuídos podem entrar em conflito com o projeto estrutural e a estética da edificação (DYER, 2014). Belisário (2016) também destaca a importância da realização de inspeções e rotinas de manutenção para preservar as características e aspectos funcionais do edifício.

Como notou-se, as manutenções de fachadas são tarefas complexas, por envolver equipamentos, trabalhos em elevadas alturas, entre outros fatores. Conforme destaca Oliveira (2013), os serviços de recuperação das fachadas são bastante onerosos, podendo ultrapassar o valor da execução original, além de trazer transtorno aos usuários, visto que na maioria das vezes a edificação já está em uso (SACHS, 2015). O tipo e a frequência das manutenções dependem também da agressividade do meio.

4.5 CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS

Para o diagnóstico, foram avaliados os tipos de danos, suas possíveis causas, etapa em que se originou e qual o impacto gera na edificação, para assim poder definir a urgência de intervenção. Como a inspeção visual é uma avaliação sensorial, em

alguns casos não é possível definir com precisão a causa e classificação dos danos, sendo necessário uma investigação mais profunda.

A catalogação dos danos encontrados está apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 – Catalogação dos danos

Tipo de dano	Causa	Origem	Impacto	Local
Manchas de umidade	Umidade	Fatores externos Projeto	Visual	N, L, S
Eflorescência	Umidade	Fatores externos	Visual	N, L
	Evaporação	Projeto	Estrutural	
	Fissuras Alta concentração de CO ₂	Execução		
Fissuras	Umidade	Fatores externos Projeto	Visual	N, S
	Temperatura		Estrutural	
	Retração			
	Radiação solar Ataque de sais			
Mofo	Umidade	Fatores externos	Visual	L
	Fungo Pouca exposição ao sol			
Desgaste do concreto	Umidade	Projeto	Visual	S
			Estrutural	
Descoloração	Radiação solar	Fatores externos	Visual	N
	Uso de material inadequado (cor)	Projeto (material)		
Infiltração nas juntas	Falha de vedação	Projeto	Funcional	N
		Execução	Visual	

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2021), a VUP de fachadas é de no mínimo 40 anos; para pinturas o mínimo são 8 anos, com observância dos prazos de garantia de cada componente, destacando-se ainda que as pinturas devem permanecer sem empolamento, descascamento, esfarelamento, alteração de cor ou deterioração de acabamento por dois anos. De acordo com Oliveira (2020), estima-se que as fachadas atingem o fim da vida útil estética aos 5 anos e o fim da vida útil física aos 12 anos. Diversos fatores interferem na durabilidade das estruturas de concreto, entre

eles pode-se citar: temperatura, chuva, vento, amplitude térmica, umidade relativa do ar, chuva ácida e poluentes (LIMA, 2011). A edificação analisada tem apenas 5 anos desde sua construção e já apresenta danos. Cabe frisar que, segundo Bauer et al. (2015), a presença de fenômenos de degradação pode ser observada tanto em edifícios mais antigos, como em edifícios com idades menores.

As principais causas dos danos encontrados são ocasionadas por intempéries como elevadas variações de temperatura e umidade do ar, que é muito comum nesta região. Além disso, observou-se a degradação através da incidência solar e por detalhes arquitetônicos, verificando maior umidade nos locais próximos as esquadrias e juntas de dilatação. Conforme destacam Britez et al. (2020), detalhes arquitetônicos podem auxiliar no escoamento de água e prevenir falhas decorrentes do acúmulo de água. Beasley (2012) diz que os danos nas fachadas com causas diversas, geralmente são originados em projeto, devido à falta de detalhamentos, especificação de materiais ou má dimensionamento das estruturas, por exemplo. Segundo Souza (2008), 60% das manifestações patológicas encontradas em edificações em fase de uso e operação podem estar relacionadas a problemas decorrentes da umidade.

A orientação cardinal das fachadas contribui para a incidência de anomalias, onde cada orientação apresenta uma tendência diferente de comportamento em relação a quantidade e tipo de anomalia (MELO, 2010). Segundo Souza (2016), as fachadas de orientação Norte tendem a apresentar maiores índices de degradação que as demais, e a Sul tende a apresentar a menor susceptibilidade à degradação. Como percebeu-se através deste trabalho, em concordância com o estudo citado, a fachada Norte apresentou maior área de danos ao longo de sua extensão conforme inspeção visual, seguida da Leste, e a Sul a menor. Destacando que a fachada Oeste não foi analisada visto que possui revestimento em ACM, não sendo o foco deste trabalho.

As fissuras geradas pela retração e a umidade são os principais fatores que influenciaram o aparecimento dos danos patológicos encontrados, uma vez que as fissuras permitem a entrada de água e agentes agressivos na estrutura, mesmo que as encontradas são de pouca dimensão; e a umidade é o meio para que as manifestações patológicas ocorram e se propaguem. As fissuras geralmente são originadas pela dilatação térmica do próprio material ou pela dilatação diferencial entre elementos, também podendo ocorrer por variações higroscópicas, que são causadas pela absorção e posterior exalação da água pela porosidade do elemento. Quando se

ultrapassa a resistência à tração, o material fissa. Já os danos gerados por mecanismos biológicos são intensificados em áreas em que há alta umidade, amplos ciclos de secagem e umidificação, e pouca incidência de sol. O desenvolvimento da proliferação está muito associado às condições do meio (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). Vale ressaltar que a edificação possui sistemas de proteção para água, como rufos e pingadeiras que auxiliam no não acúmulo de água, conforme verificado em projeto.

O prognóstico também faz parte do estudo das manifestações patológicas, em razão de que é necessário analisar a progressão do dano caso nada seja feito, considerando a evolução natural, as condições de exposição que se encontra e a tipologia do problema. A partir do levantamento de tais hipóteses, pode-se definir os procedimentos a serem realizados, estabelecer o objetivo, com intuito de eliminar a enfermidade, impedir ou controlar a evolução ou não intervir. Com os danos avaliados neste trabalho, além de prejuízos estéticos, as eflorescências, as fissuras e o desgaste do concreto se não corrigidos poderiam causar danos na estrutura.

Percebeu-se através da inspeção visual que os danos de eflorescência estavam localizados próximos as esquadrias e juntas de dilatação, em razão de que são locais que acumulam água e são de grandes dimensões. Se não tratada, a eflorescência pode causar alterações não apenas estéticas no edifício, tornando-se mais agressiva, causando desagregação de partes do revestimento (CHAVES, 2009). São um indício da existência de umidade e sais, que futuramente podem causar degradação interna da estrutura (SANTOS, 2019). Para prevenir a ocorrência da lixiviação, que dissolve os componentes hidratados do cimento formando compostos expansivos, deve-se minimizar fissuras para evitar infiltração de água e proteger as superfícies. Para comprovar a real existência de eflorescência, poderiam ser realizadas análises químicas.

As manchas podem ser caracterizadas por alteração na cor, tonalidade ou brilho de uma região do revestimento, contrastando com demais regiões, impactando no visual da fachada (GASPAR, 2009). Frequentemente associadas a umidade, as manchas podem contribuir para o agravamento de outras anomalias e acelerando a degradação do material (FLORES-COLEN et al., 2006). Já o mofo somente foi percebido na fachada Leste em local que não recebe luz solar e os desgastes foram notados na fachada Sul que é a região onde possui maior umidade. As juntas de dilatação na fachada Norte apresentaram falha de vedação causando infiltração para

a parte interna do edifício, a qual degradou por causa da intensa radiação solar nesta posição.

Analisando o edifício através de inspeção visual, percebe-se que nenhum dos danos observados representa, atualmente, risco para a estrutura, podendo classificá-los como “Prioridade 3” conforme NBR 16747 (ABNT, 2020), conforme os patamares de urgência apresentados no capítulo 2.5.2 deste estudo, visto que as ações podem ser feitas sem urgência. O dano que mais representaria algum prejuízo à construção seria a infiltração das juntas, que poderia causar além de prejuízos estéticos, também funcionais, prejudicando a operação da loja bem como degradar o ambiente interno. Visto que as manutenções necessárias, como a pintura e a troca das juntas já foram executadas, recomenda-se a realização de novas inspeções futuramente para avaliar e manter o desempenho da edificação. Quanto mais cedo for identificado o dano na estrutura, mais fácil e econômica será a intervenção (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

4.6 MEDIDAS DE PROFILAXIA

A profilaxia é o conjunto de medidas adotadas para evitar o aparecimento das manifestações patológicas. Visto que, ao decorrer do trabalho, foi destacado a importância da prevenção dos danos nas estruturas, as principais medidas de profilaxia para se evitar danos nas edificações são:

- Projetos bem elaborados: um projeto bem elaborado deve considerar todos os fatores, estar de acordo com as normas vigentes, ser de fácil compreensão, estar compatibilizado entre as disciplinas e estar com todos os detalhes necessários para sua execução, como especificação dos materiais e suas características. Nas fachadas verificadas, seria importante ter sido realizado projeto pensando nos detalhes arquitetônicos para facilitar o escoamento da água das fachadas e realizar reforço nas regiões de esquadrias devido a suas grandes dimensões, por exemplo.
- Controle tecnológico dos materiais: é preciso fazer não somente o controle do concreto, mas também dos agregados, água e aditivos. Deve ser elaborado em função do grau de responsabilidade da estrutura, das condições agressivas existentes no local da obra e do conhecimento prévio das características dos materiais disponíveis para a execução das obras. Na edificação analisada deveria ser realizado o controle do concreto, visto que foi encontrado desgaste

em algumas áreas, bem como a seleção da cor da tinta, posto que a cor preta, inicialmente adotada, prejudicou a estética do edifício.

- Fiscalização e equipe qualificada: a falha na etapa de construção é um dos grandes problemas na construção civil, podendo gerar muitos custos adicionais. É necessário aliar um projeto bem elaborado à equipe preparada para executá-lo de acordo. Algumas falhas na execução das juntas por exemplo podem ter gerado as infiltrações analisadas.
- Manutenções preventivas: são fundamentais para garantir maior vida útil e de satisfatório desempenho. Alguns exemplos são pintura, limpeza dos elementos, troca de sistemas, como foi realizado na edificação analisada. Se realizadas com maior frequência, os danos poderiam ter sido minimizados.
- Utilização adequada da edificação: a utilização inadequada de uma edificação ocorre, principalmente, quando se muda o uso ou quando as manutenções não são realizadas.
- Impermeabilização: a impermeabilização do edifício é medida básica contra infiltrações, estancando a umidade e evitando degradar a estrutura.

Algumas medidas preventivas também são descritas pela NBR 6118 (ABNT, 2014), como por exemplo:

- Discussão, aprovação e distribuição a equipe das decisões de projeto;
- Programação de atividades respeitando prazos;
- Proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como hidrófugos;
- Restringir fissuração, de forma a minimizar infiltração de água;
- Detalhes arquitetônicos ou construtivos que possam diminuir a durabilidade devem ser evitados;
- Evitar acúmulo de água sobre as superfícies de concreto;
- Juntas de movimentação ou dilatação em superfícies sujeitas à ação de água devem ser seladas, tonando-se estanques à percolação de água;
- Platibandas e paredes protegidas;
- Beirais devem ter pingadeiras; encontros em diferentes níveis devem ter rufos;
- Em condições de exposição adversas, devem ser realizadas medidas de proteção especiais, como a aplicação de revestimentos hidrófugos, pintura impermeabilizante, galvanização da armadura, proteção catódica da armadura, entre outras, devendo avaliar a necessidade em cada caso;

- Projetos devem ser realizados facilitando procedimentos de inspeção e manutenções preventivas;
- Considerar as condições arquitetônicas, funcionais, construtivas, estruturais e de integração com os demais projetos;
- Características do concreto e cobrimento das armaduras;
- Durabilidade do concreto garantida por ensaios ou seguindo a norma.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal de analisar os danos patológicos encontrados através de inspeção em área industrial no varejo da empresa Tramontina em Farroupilha, cuja estrutura é de concreto protendido pré-fabricado. As manifestações patológicas podem ocorrer muito antes do previsto em projeto, fazendo com que a estrutura tenha a sua durabilidade reduzida, afetando parâmetros estéticos, funcionais, de segurança, demandando recursos monetários consideráveis para recuperar tais estruturas, o que evidencia a relevância de inspeções.

Inicialmente através da anamnese, foi possível identificar a vizinhança de área industrial, constatar o uso comercial, analisar como é a estrutura, levantar dados sobre os danos já observados e manutenções já realizadas, entre outros. Com os projetos foi verificado a disposição da estrutura e suas dimensões, para posterior conferência, bem como os sistemas de proteção.

Por meio da realização do ensaio de detecção de barras com uso do pacômetro, o cobrimento médio identificado nas placas foi de 25 mm. Como o acesso aos projetos das estruturas de concreto não foi obtido, não se sabe suas características e para qual cobrimento foi projetado, porém por ser de estrutura pré-fabricada, deve possuir controle de qualidade em sua produção, onde provavelmente atende aos requisitos de norma. Conforme verificado pelo ensaio de frente de carbonatação, não há presença de carbonatação em nenhuma amostra, podendo prever que a durabilidade do material está satisfatória, uma vez que a frente de dano ainda não foi percebida.

Os principais danos encontrados através da inspeção visual foram: eflorescência, fissuras, manchas de umidade, descoloração da pintura, desgaste do concreto, mofo e infiltração nas juntas de dilatação. Ao avaliar os danos, é possível correlacionar os parâmetros e fatores intervenientes no processo de degradação das fachadas. Com os resultados obtidos, verificou-se que os principais danos são causados pela umidade e irradiação solar, sendo que a fachada Norte apresentou maior área de danos ao longo de sua extensão e a fachada Sul a menor quantidade. Destaca-se que a fachada Oeste não foi analisada, pois possui revestimento em ACM, não sendo o foco deste trabalho. Os danos apresentados não possuem necessidade de ações imediatas. Cabe salientar que cada fachada do edifício é exposta aos

agentes de degradação de forma distinta, resultando em suas particularidades e peculiaridades. Como a inspeção visual é uma avaliação sensorial, em alguns casos é necessária uma investigação mais aprofundada dos danos. Além disso, para comprovar a existência de eflorescência, poderiam ser realizadas análises químicas na superfície.

As manifestações patológicas podem ter diversas causas e origem em qualquer uma das etapas da construção, e sua análise requer conhecimento de diversas áreas. Em razão disto, destaca-se a importância das manutenções preventivas, do controle tecnológico dos materiais empregados, da padronização e qualidade na execução dos projetos e nos serviços de execução que constituem o processo como um todo.

Analisando os dados obtidos, percebe-se que, mesmo com a realização de projetos, manutenções e controle de qualidade dos materiais, a edificação com pouca idade apresentou alguns danos patológicos. Diante disso, cabe destacar a importância de realizar os projetos pensando na durabilidade das estruturas, associando ao uso, operação e a manutenção, bem como escolher corretamente os materiais, tornando as obras mais eficientes. A realização de manutenções tem fundamental importância para o empreendimento como um todo, impactando desde questões financeiras a questões técnicas e de funcionamento.

Avaliando de maneira geral, o edifício deste estudo apresenta resultados satisfatórios em relação a durabilidade, visto que foram realizadas inspeções e manutenções conforme necessidade, evidenciando a importância do atendimento à norma de desempenho para prolongar a vida útil das construções. As manutenções realizadas foram efetivas na troca das juntas, cessando a infiltração. Já a pintura é um serviço eficiente como manutenção preventiva, porém deve-se definir e corrigir as causas do problema para evitar o reaparecimento dos danos ou ainda piorar internamente a estrutura. Sugere-se a realização de novas inspeções para manter e controlar a durabilidade da edificação.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 228.2R-13: **Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures**. Farmington Hills: American Concrete Institute. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E632-82: **Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials**. West Conshohocken: ASTM International, 1996.

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Pini, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14037**: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações: Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16230**: Inspeção de estruturas de concreto — Qualificação e certificação de pessoal — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16747**: Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5674**: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BALTAZAR, M. et al. **Influencia del medio ambiente en el comportamiento electroquímico del hormigón armado** – Proyecto DURACON. Scientia et Technica, Xalapa, ano XIII, n. 36, 2007.

BASTOS, P. S. **Fundamentos do Concreto Protendido**. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2019. Disponível em: wwwp.feb.unesp.br/pbastos. Acesso em: 10 mar. 2022.

BAUER, E. et al. **Identification and Quantification of Failure Modes of New Buildings Façades in Brasília**. XII DBMC - International Conference on Durability of Building Materials and Components, p. 1–7, 2011.

BAUER, E. **Resistência à penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos** - uma análise de desempenho. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B. **Estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmico**: estudo de caso de edifícios de Brasília. *Cerâmica*, 61: 151-159, Brasília, 2015.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B.; ZANONI, V. A. G. **Evaluation of damage of building facades in Brasília**. Proceedings of the 13th DBMC International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, p. 535–542. São Paulo, 2014.

BEASLEY, Kimball J. **Latent Building Facade Failures**. Forensic Engineering, American Society of Civil Engineers, [S.l.], p.918-927, 2012.

BOLINA, Fabrício Longhi; TUTIKIAN Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Patologia das Estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

BONSHOR, R.; BONSHOR, L. **Cracking in buildings**. London: BRE, 2001.

BREITBACH, A. M. **Avaliação da influência das cores sobre a biodeterioração da pintura externa**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2009.

BRITEZ, Carlos; PACHECO, Jéssika; CARVALHO, Mariana; HELENE, Paulo. **Arquitetura Planejada Visando a Longevidade de Estruturas de Concreto**. Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves: IBRACON, 2017.

CARRARO, M., OLIVEIRA, L. A. **Os impactos do processo de projeto na execução e desempenho da fachada**. IV Simpósio Brasileiro de Qualidade de Projeto no Ambiente Construído - SBQP. Minas Gerais, 2015.

CONSOLI, O. J. **Análise da Durabilidade dos Componentes de Fachadas de Edifícios, sob a Ótica do Projeto Arquitetônico**. Dissertação (Mestrado Profissional em Desempenho de Sistemas Construtivos), – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

CORSINI, Rodnei. **Trinca ou fissura**. *Téchne*, n. 160, p. 56-60. São Paulo, 2010.

CORTÊS, J. F. M. **Resistência à penetração de cloretos de betões estruturais de agregados leves**. Lisboa, 2014.

CUNHA, F. S.; COLLA, K. A. L.; EHRENBRING, H.; BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. **Case study: influence of performance levels of ABNT NBR 15575 without consumption of materials used in reinforced concrete structures**. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 956–971, 2019.

DA SILVA, F. G.; HELENE, CASTRO-BORGES, P.; LIBORIO, J. B. L. **Sources of Variations When Comparing Concrete Carbonation Results**. *J. Mater. Civ. Eng.*, v. 21, n. 7, [S.l.], p. 333–342, 2009.

DYER, T. **Concrete Durability**. Boca Raton: CRC Press, 2014.

GALBUSERA, M. M., BRITO, J. D., SILVA, A. The importance of the quality of sampling in service life prediction. **Construction and building materials**, v. 66, [S.I.], p.19-29, 2014.

GASPAR, P. L.; COLEN, I. F.; BRITO, J. **Técnicas de Diagnóstico e Classificação de Fissuração em Fachadas Rebocadas**. 2º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios - PATORREB. Porto, Portugal, 2006.

GASPAR, P. **Vida útil das construções**: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção - Aplicação a rebocos de edifícios correntes. Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

GASPAR, P.; DE BRITO, J. Mapping defect sensitivity in external mortar renders. **Construction and Building Materials**, v. 19, [S.I.], p. 571–578, 2005.

GJØRV, Odd E. **Durability Design of Concrete Structures in Severe Environments**. 2ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

GJØRV, Odd E. **Durability of Concrete Structures**, Boca Raton, p151–172, 2011.

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

HAVLÁSEK, P. et al. Thermo-mechanical simulations of early-age concrete cracking with durability predictions. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 236, n. 1, [S.I.], 2017.

HELENE, P. **Os Principais Mecanismos de Deterioração que Prejudicam a Vida Útil da Estrutura**. Gramado: 55º Congresso Brasileiro do Concreto, 2013.

HELENE, P.; ANDRADE, J. J. de O.; MEDEIROS, M. H. F. de **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**, São Paulo: IBRACON, 2011.

HELENE, Paulo R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª edição. São Paulo: Pini, 1992.

INOCÊNCIO, M.; CORREA, F. **Implantação de programas de manutenção preventiva e corretiva em estruturas de concreto armado**. [S. I.], 2013.

JIAO, J.; DIAO, B.; WANG, C. **The carbonation model of concrete structures and its application**. International Conference on Civil, Transportation and Environment (ICCTE). Guangzhou, China, 2016.

KAZMIERCZAK, C. S. **Contribuição para a análise da eficiência de películas aplicadas sobre estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção contra a carbonatação**. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto armado**. Monografia, Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LIMA, G. M. **Ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto**. Concreto ciência e tecnologia. v. 1, cap. 21. São Paulo, 2011.

MEDEIROS, F. H. M.; ANDRADE, O. J. J.; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. Concreto ciência e tecnologia. v 1, cap. 22. São Paulo. 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 4. ed. São Paulo: Pini, 2014.

MEIRA, G. R.; PADARATZ, I. J.; BORBA JÚNIOR, J. C. **Carbonatação natural de concretos: resultados de cerca de quatro anos de monitoramento**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XI. Florianópolis. Porto Alegre: Antac, 2006.

MELO JR, C. M. **Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, 2010.

MIRANDA, J. A. T. et al. **Estudo de Caso: Recuperação e reforço estrutural em edifício empresarial no meio urbano**. [S. l.], p. 74509–74523, 2021.

MONTEIRO, E. C. B. **Manifestações patológicas em estruturas de concreto**. Notas de aula do Curso de Especialização. Escola Politécnica de Pernambuco. Universidade de Pernambuco, Recife, 2018.

NAKAMURA, J. **Projeto de fachadas**. Revista Técnica, v. 92, [S.l.], 2004.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OLIVEIRA J. A. R. **Estudo da degradação de fachadas em argamassa com acabamento em pintura na cidade do Recife**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2020.

OLIVEIRA, Daniel F. C. **Concreto pré-moldado: processos executivos e análise de mercado**. Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte, 2015.

ONO, R. et al. **Avaliação pós-ocupação: na arquitetura, no urbanismo e no design**. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://books.google.com:br/books?id=PTVyDwAAQBAJ>. Acesso em: 15 abr. 2022.

PACHECO, F. **Investigação da relação entre os parâmetros de projeto das estruturas de concreto armado visando à durabilidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 2016.

PEREZ, A. R. **Umidade nas Edificações**: recomendações para a prevenção de penetração de água pelas fachadas. Tecnologia de Edificações, p.571-578. São Paulo: Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1988.

PONTES J., A. A. S.; BARBOSA, C. F. M. N. **Levantamento de manifestações patológicas em fachadas**: estudo de caso de um conjunto de edificações residenciais. Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amapá. Macapá, 2019.

POSSAN, E.; ALBERTO DEMOLINER, C. Desempenho, Durabilidade E Vida Útil Das Edificações: Abordagem Geral. **Revista Técnico-Científica**, [S. l.], v. 1, p. 14, 2013.

REGINATO, L. A.; LORENZI, A.; SEVERO DA SILVA, D.; KLEIN, D. L.; CAMPAGNOLO, J. L.; ALMEIDA, J. **Inspeção e Análise Estrutural de uma Treliça Mista de Concreto Armado e Aço em uma Edificação Industrial**. p. 3349–3358. Fortaleza, 2020.

RESENDE, G. A. **Recuperação de Estruturas de Concreto Armado: Técnicas e Materiais para Prolongar a Vida Útil**. 6ª Conferência sobre patologia e reabilitação de edifícios - PATORREB. Rio de Janeiro, 2018.

RIBEIRO, I. J. C.; BARBOSA, G. E.; SILVA, O.; ARAUJO, D. T. R.; LUCENA, A. D. **Implantação de Métodos de Tratamento para Combater as Eflorescências**. Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB. v. 1, n. 38, p. 43. João Pessoa, 2017.

RODRIGUES, M. F., TEIXEIRA, J. M. C., CARDOSO, J. C. P. **Buildings' Envelope Anomalies**: a Visual Survey Methodology. Construction And Building Materials, v. 25, n. 5, p.2741-50, 2011.

SADOWSKI, L. **Methodology for assessing the probability of corrosion in concrete structures on the basis os half-cell potential and concrete resistivity measurements**. Institute of Building Engineering, Wroclaw: Wroclaw University of Technology, 2013.

SANTOS. D. G. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SILVA, A. F. **Manifestações Patológicas em Fachadas com Revestimentos Argamassados**: Estudo de Caso em Edifícios em Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

SILVA, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada** – aplicação ao caso de Brasília/DF. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, 2014.

SITTER, W. R. **Costs for service life optimization**. The “Law of fives”. Durability of concrete structures, Proceedings. p. 18-20. Copenhagen: CEB-RILEM, 1984.

SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas** – Efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2016.

SOUZA, J. S.; BAUER, E.; NASCIMENTO, M. L. M.; CAPUZZO, V. M. S.; ZANONI, V. A. G. **Study of damage distribution and intensity in regions of the facade**. Journal of Building Pathology and Rehabilitation, [S.l.], p. 1–9, 2016.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2009.

TANG, S. W. et al. Recent durability studies on concrete structure. **Cement and Concrete Research**, [S.l.], v. 78, p. 143–154, 2015.

TECHNE, Manutenção. São Paulo: Ibape, v. 184, p.44-51, 2012.

THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo, 2001.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. Boletín Técnico: **Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil**. ALCONPAT - Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, n. Mérida, México, p. 1–17, 2013.

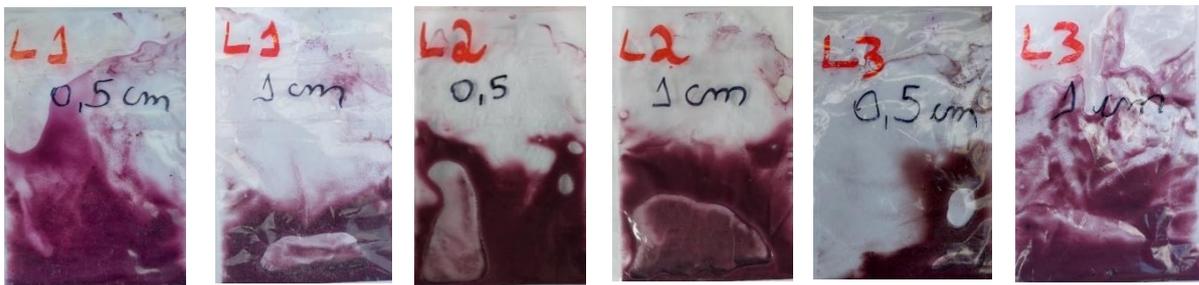
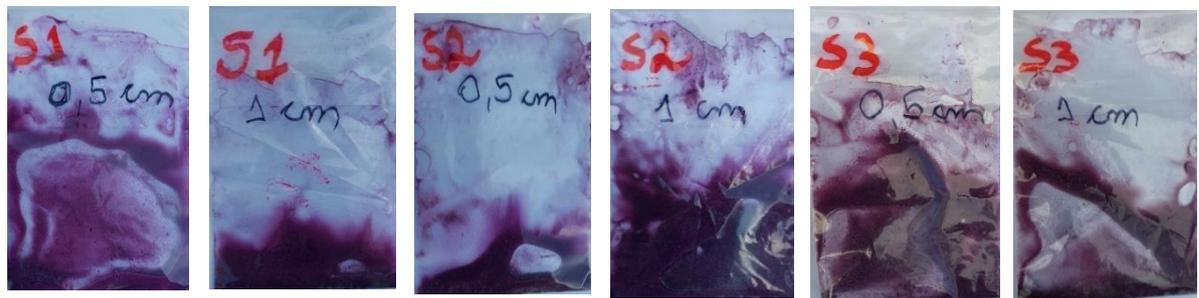
TUUTTI, K. **Corrosion of Steel in Concrete**. Stockholm: Cement And Concrete Research Institute, 1982.

VARLAMOV, A. A.; SHAPOVALOV, E. L.; GAVRILOV, V. B. Estimating Durability of Reinforced Concrete. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S.l.], v. 262, p. 1–7, 2017.

VERÇOZA, E.J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre. [s.n.], 1991.

METEOBLUE. **Dados históricos simulados de clima e tempo para Farroupilha**. 2022. Disponível em: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/farroupilha_brasil_3463605. Acesso em: 06 abr. 2022.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Tese (Doutorado) Universidade de Brasília, 2015.

APÊNDICE A - FOTOS DO ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DE CARBONATAÇÃO

**TERMO DE CONFIDENCIALIDADE PARA COLETA DE
INFORMAÇÕES DE EMPRESA/INSTITUIÇÃO.**

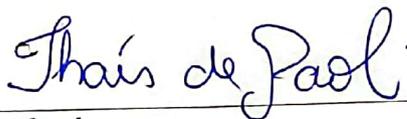
Eu, **Thaís Roza Conzatti de Paoli**, aluna do **Curso de Engenharia Civil** da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos, matriculada sob o número **1770014**, **declaro que a Empresa Tramontina Farroupilha S/A Indústria Metalúrgica objeto de estudo do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Inspeção de Fachada em Concreto Pré-Fabricado e Análise dos Danos Patológicos em Edificação Industrial" entregue no semestre 2022/1, permitiu a pesquisa e o uso de todos os dados que nele constam.**

Declaro, ainda, que as informações apresentadas são verdadeiras e correspondem à realidade da Empresa estudada.

A Empresa autorizou a divulgação do seu nome fantasia/razão social.

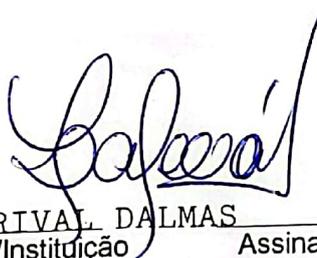
A Empresa não autorizou a divulgação do seu nome fantasia/razão social. Nesse caso, responsabilizo-me em preservar o nome da Empresa de forma a que ela não seja passível de identificação no meu Trabalho.

Farroupilha, 22 de ABRIL de 2022.



Assinatura do aluno

Ciência da empresa



~~EDUARDO PORTOLAN/LOURIVAL DALMAS~~
Nome do responsável da Empresa/Instituição

87 834 883/0001-13

TRAMONTINA FARROUPILHA S.A.
INDÚSTRIA METALÚRGICA

Rodovia ERS 122, Km 61
CEP 95178-000

┌ FARROUPILHA - RS ┐

Assinatura do Responsável da Empresa/Instituição
Carimbo ou CNPJ