

**UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Igor Dalmolin Schuster

**ESTUDO SOBRE EFLORESCÊNCIAS OCASIONADAS EM ALVENARIA  
ESTRUTURAL CERÂMICA**

Santa Cruz do Sul - RS

2022

Igor Dalmolin Schuster

**ESTUDO SOBRE EFLORESCÊNCIAS OCASIONADAS EM ALVENARIA  
ESTRUTURAL CERÂMICA**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Marcus Daniel Friedrich dos Santos

Santa Cruz do Sul - RS

2022

## AGRADECIMENTO

Gostaria de prestar meus agradecimentos a mim concedido por Deus por chegar nesta etapa da vida com saúde e disposição e tendo a oportunidade de cursar uma graduação tão bem reconhecida como é a engenharia civil.

Agradeço a todos os meus familiares pelo apoio incondicional, seja por ouvir desabafos, prestar algum conselho, uma crítica e até mesmo na transmissão de mensagens de apoio quando necessária. À minha namorada Lígia pelos apontamentos e dicas de melhorias, bem como pelo apoio e por respeitar os momentos de isolamento dedicado para o trabalho.

Não poderia deixar de agradecer ao professor orientador Marcus Daniel por toda a disponibilidade na transmissão de conhecimento sempre prestando assistência, propondo conselhos e melhorias para o estudo.

Agradeço também a C2B imóveis, empresa a qual me proporcionou a oportunidade de ter contato com a parte prática do curso vivenciando o dia a dia da obra através do estágio, além de proporcionar todos os materiais utilizados e através da sensibilidade em entender os motivos de ausência nos dias de trabalho.

Agradecimento especial também ao pessoal do Laboratório de Estruturas da Unisc, principalmente ao Henrique ao qual prestou grande auxílio na realização dos ensaios, se mostrando sempre prestativo e com vontade de ajudar. Também gostaria de agradecer ao laboratório ITT Oceaneon da Unisinos, em especial ao Lucas que foi o técnico responsável pelo ensaio de difração de raio X, o qual também se mostrou bastante solícito em tirar qualquer dúvida que surgiu no decorrer da pesquisa.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma estiveram presentes ao longo desta árdua caminhada.

## RESUMO

As manifestações patológicas estão cada vez mais frequentes nas obras de engenharia, tendo as suas causas ligadas tanto ao projeto, como execução e uso de materiais de baixa qualidade. Com isso, o tema do estudo são as eflorescências que são ocasionadas tanto no bloco cerâmico como no graute que são patologias que se destacam por sua coloração clara e sua origem está ligada a sais solúveis, fluxo de água e gás carbônico. Considerando o exposto, este trabalho tem por objetivo geral a investigação e análise das causas e dos danos ocasionados pelas eflorescências sobre as estruturas, bem como objetivos específicos como a análise da formação, do comprometimento e dos possíveis impactos da eflorescência no que diz respeito à área estrutural, assim como verificar quais elementos se fazem presentes na formação da patologia. O método de abordagem adotado foi quantitativo e quanto ao método de procedimento empregou-se pesquisas bibliográficas, seguindo as normas regulamentadoras. Os ensaios realizados foram divididos em duas partes distintas: ensaios previstos em laboratório e ensaios previstos na obra. Em laboratório foi realizada a moldagem de corpos de prova buscando a formação da eflorescência, analisando a resistência dos elementos e também por meio da raspagem de amostras de eflorescência no graute e no bloco cerâmico, verificou-se os minerais presentes por meio da difração de raios x. Já na obra foi realizada extração do revestimento argamassado analisando os impactos estruturais da eflorescência. Diante de todos os procedimentos realizados, concluiu-se que nenhum dos elementos apresentou potencial de eflorescência, a resistência à compressão do graute e da argamassa de assentamento se mostraram dentro do proposto pelas especificações do produto e também o revestimento argamassado não se mostrou influenciável pela presença de eflorescência. Além disso, por meio da difração de raios x foi encontrado em maior proporção o elemento alfa-hidralite na eflorescência retirada do bloco cerâmico e na amostra de eflorescência no graute foi encontrado em maior número o elemento quartzo. Espera-se que esta pesquisa possa contribuir para a área da construção civil permitindo maior capacidade de identificar fatores determinantes para a ocorrência das eflorescências. No mesmo propósito, o conhecimento possibilita o acompanhamento e o correto tratamento da anomalia, mediante a adoção de medidas necessárias para sanar essa patologia como por exemplo através da substituição de algum insumo que possa estar causando o referido problema.

Palavras-chave: patologia, manifestação patológica, eflorescência, graute, bloco cerâmico

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gráfico manutenção periódica.....	13
Figura 2 – Lei de Sitter.....	14
Figura 3 – Configuração das solicitações.....	18
Figura 4 – Fissura por retração do concreto.....	19
Figura 5 – Fissuras causadas por recalque de fundação.....	20
Figura 6 – Efeito pilha.....	22
Figura 7 – Mecanismo da corrosão.....	22
Figura 8 – Camada passivadora.....	23
Figura 9 – Processo de carbonatação do hidróxido.....	24
Figura 10 – Segregação do concreto.....	28
Figura 11 – Manchas de mofo no teto.....	29
Figura 12 – Mecanismo de formação das eflorescências.....	36
Figura 13 – Eflorescência no bloco cerâmico.....	38
Figura 14 – Graute estrutural.....	39
Figura 15 – Eflorescência no graute.....	40
Figura 16 – Ataque de sulfatos no concreto.....	41
Figura 17 – Formas de ingresso de água na edificação.....	42
Figura 18 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova em argamassa.....	48
Figura 19 – Máquina de compressão.....	49
Figura 20 – Equipamento para moldagem de barras prismáticas.....	50
Figura 21 – Dispositivo de carga para determinação da resistência à tração na flexão.....	52
Figura 22 – Dispositivo de carga típico para ensaios de resistência à compressão.....	53
Figura 23 – Detalhamento do corte do equipamento utilizado.....	55
Figura 24 – Limpeza, pesagem e blocos na estufa.....	56
Figura 25 – Blocos dispostos nos recipientes impermeáveis.....	57
Figura 26 – Blocos cerâmicos sem aparição de eflorescência.....	58
Figura 27 – Graute moldados em formas metálicas.....	59
Figura 28 – Corpos de prova submersos em água para cura.....	59
Figura 29 – Ciclos de molhagem e secagem do graute.....	60
Figura 30 – Moldagem de corpos de provas.....	61
Figura 31 – Graute aplicado nos blocos cerâmicos.....	61
Figura 32 – Corpos de prova com graute curados.....	62
Figura 33 – Máquina de compressão.....	63
Figura 34 – Moldagem dos corpos de prova de argamassa de assentamento.....	64
Figura 35 – Corpos de prova desmoldados aguardando a lâmina de água.....	65
Figura 36 – Nova moldagem de corpos de prova.....	66
Figura 37 – Rompimento das barras prismáticas de argamassa.....	67
Figura 38 – Rompimento à compressão das barras prismáticas de argamassa.....	68
Figura 39 – Parede com e sem eflorescência.....	69
Figura 40 – Parede com chapisco e reboco.....	70
Figura 41 – Realização dos furos no revestimento.....	71
Figura 42 – Colagem das pastilhas metálicas.....	71
Figura 43 – Realização do arrancamento das pastilhas metálicas.....	72
Figura 44 – Formas típicas de ruptura.....	72
Figura 45 – Raspagem e coleta das amostras.....	75
Figura 46 – Processo de moagem das amostras.....	75
Figura 47 – Preparação das amostras.....	76
Figura 48 – Máquina de difração de raios X.....	77

Figura 49 – Percentual dos teores dos minerais na amostra de eflorescência no bloco cerâmico.....	78
Figura 50 – Gráfico de <i>difference plot</i> para amostra de bloco cerâmico.....	79
Figura 51 – Gráfico <i>peak list</i> para amostra de eflorescência em bloco cerâmico.....	79
Figura 52 – Percentual dos teores dos minerais na amostra de eflorescência no graute.....	80
Figura 53 – Gráfico de <i>difference plot</i> para amostra de eflorescência no graute.....	81
Figura 54 – Gráfico <i>peak list</i> para amostra de eflorescência no graute.....	81

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais sais envolvidos nas eflorescências.....	33
Quadro 2 – Origem da umidade nas edificações.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos blocos cerâmicos.....	58
Tabela 2 – Ensaio de resistência a compressão.....	63
Tabela 3 – Ensaio de flexão da argamassa.....	67
Tabela 4 – Ensaio de resistência a compressão da argamassa.....	68
Tabela 5 – Arrancamento com eflorescência sobre o substrato.....	73
Tabela 6 – Arrancamento sem eflorescência sobre o substrato.....	74



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
1.1 Área e limitação do tema .....	9
1.2 Justificativa .....	9
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo Geral .....	10
1.3.2 Objetivos específicos .....	10
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
2.1 Conceito de patologia .....	11
2.2 Vida útil e durabilidade .....	11
2.3 Conceito de manutenção .....	12
2.4 Patologias na Construção Civil .....	13
2.5 Principais tipos de patologias .....	16
2.5.1 Fissuras .....	16
2.5.1.1 Fissura devido à sobrecargas .....	18
2.5.1.2 Fissura por retração do concreto .....	18
2.5.1.3 Fissura por recalque de fundações .....	19
2.5.1.4 Fissuras devido às movimentações térmicas .....	20
2.5.2 Corrosão das armaduras .....	20
2.5.3 Carbonatação .....	24
2.5.4 Lixiviação .....	25
2.5.5 Infiltração .....	26
2.5.6 Segregação do Concreto .....	28
2.5.7 Bolor ou Mofo .....	29
2.5.8 Eflorescência .....	30
2.5.8.1 Definição de eflorescência .....	30
2.5.8.2 Mecanismo de formação.....	31
2.5.8.3 Eflorescência no Bloco Cerâmico .....	36
2.5.8.4 Eflorescência no Graute .....	38
2.5.8.5 Causas das eflorescências .....	41
2.5.8.6 Problemas ocasionados pelas eflorescências .....	44
2.5.8.7 Soluções para minimizar o aparecimento das eflorescências .....	44
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>46</b>
3.1 Caracterização da pesquisa .....	46
3.1.1 Ensaios em laboratório .....	46
3.1.1.1 Determinação de eflorescência nos blocos cerâmicos.....	46
3.1.1.2 Ensaio de determinação da eflorescência no graute .....	47
3.1.1.3 Ensaio de resistência à compressão do graute .....	48
3.1.1.4 Ensaio de determinação da eflorescência na argamassa .....	49
3.1.1.5 Ensaio de resistência à compressão e flexão da argamassa .....	51
3.1.1.5.1 Ensaio de resistência à tração na flexão .....	51
3.1.1.5.2 Ensaio de resistência à compressão .....	52
3.1.1.6 Ensaio de Difração de raio X .....	53
3.1.2 Ensaios previstos na obra .....	54
3.1.2.1 Ensaio de aderência à tração do revestimento argamassado.....	54
<b>4 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS</b> .....	<b>56</b>
4.1 Ensaio de determinação de eflorescência nos blocos cerâmicos.....	56
4.2 Ensaio de eflorescência no graute .....	58
4.3 Ensaio de compressão do graute .....	62

<b>4.4</b>	<b>Ensaio de efluorescência na argamassa .....</b>	<b>64</b>
<b>4.5</b>	<b>Ensaio de resistência à tração na flexão da argamassa.....</b>	<b>66</b>
<b>4.6</b>	<b>Ensaio de resistência à compressão da argamassa .....</b>	<b>67</b>
<b>4.7</b>	<b>Ensaio de resistência de aderência à tração .....</b>	<b>69</b>
<b>4.7.1</b>	<b>Arrancamento com efluorescência sobre o substrato .....</b>	<b>73</b>
<b>4.7.2</b>	<b>Arrancamento sem efluorescência sobre o substrato.....</b>	<b>73</b>
<b>4.8</b>	<b>Ensaio de difração de raio X .....</b>	<b>74</b>
<b>4.8.1</b>	<b>Análise quantitativa pelo Método de Rietveld – Efluorescência em bloco cerâmico</b>	<b>77</b>
<b>4.8.2</b>	<b>Análise quantitativa pelo Método de Rietveld – Efluorescência no graute.....</b>	<b>80</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>84</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma atividade bastante antiga e desenvolvida por todas as civilizações do mundo em razão da necessidade de abrigo e habitação. Passou por grandes e importantes evoluções tecnológicas ao longo do tempo que aperfeiçoaram os processos e técnicas, simplificando a sua execução.

Com o avanço e crescimento desenfreado das civilizações, encontrar espaço e abrigo para as inúmeras demandas da população tornou-se uma necessidade. Desse modo, as construtoras tiveram que desenvolver novas formas de acelerar os seus processos e diminuir cada vez mais os prazos para a entrega dos seus empreendimentos.

Esses avanços tecnológicos, por sua vez, apesar dos enormes benefícios não eliminaram os problemas nas estruturas. Pelo contrário, junto com esse processo evolutivo foi ampliado o surgimento de falhas e formas de desgaste das estruturas, denominadas patologias, que são consideradas os maiores problemas em relação à segurança e vida útil das edificações, dentre as quais constam as eflorescências, problema alvo do presente estudo.

As manifestações patológicas são anomalias que afetam a matéria-prima das construções e podem decorrer de vários fatores, dentre os quais: sobrecarga na estrutura, infiltrações, umidade excessiva, materiais de baixa qualidade, má execução dos serviços, fatores climáticos, falhas de projeto, inobservância das normas técnicas aplicáveis. Independente das causas, as patologias são prejudiciais para os elementos estruturais e devem ser tratadas com a devida importância, pois podem comprometer a estrutura da edificação levando a mesma ao colapso sem evidências prévias ou, em casos de menor gravidade, afetar apenas a sua estética.

O surgimento cada vez mais frequente de patologias nas estruturas das construções, muitas vezes sem a possibilidade de identificação concreta da causa, tem provocado a revisão constante das normas técnicas dos produtos e dos métodos de construção Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), visando a prevenção de tais problemas.

Nesse aspecto, muitos problemas identificados em obras de engenharia estão relacionados com a qualidade do concreto, que é o insumo mais utilizado na construção civil pela sua resistência, sendo de extrema importância para a segurança estrutural. Embora a forma de apresentação do produto não tenha se alterado no decorrer do tempo, os novos estudos e tecnologias sucessivamente desenvolvidos e aplicados nos seus componentes, mediante a utilização de produtos específicos e materiais de resistência superior, permitiram a evolução da qualidade do concreto atingindo resistências jamais vistas antigamente.

A adição de materiais ao concreto, ao tempo que emprestou maior resistência e durabilidade ao produto, também permitiu a manifestação de patologias provocadas pela reação química nem sempre favorável entre os insumos, sendo suficiente a desconformidade de apenas um deles para gerar inúmeros problemas, como é o caso das eflorescências.

Certamente o uso de concreto composto de materiais de qualidade inferior aos determinados em projeto e em desconformidade com as normas técnicas, visando baratear os custos, apresenta um campo fértil para a manifestação e disseminação de patologias. Outro fator determinante para a sua ocorrência no concreto é o desrespeito aos prazos propostos e a antecipação de etapas pelo processo executório. Além disso, deve-se atentar aos conceitos primários de projeto que tratam sobre a durabilidade da estrutura, baseado nas normas técnicas e sempre respeitando cobrimentos, espessuras e demais itens.

Dentro desse contexto, a eflorescência é um dos problemas frequentes nas obras e ela se manifesta fisicamente através de manchas de coloração esbranquiçada na estrutura, cujas causas geram bastante curiosidade e diversos questionamentos na área da construção civil. A sua identificação de forma precoce permite determinar formas rápidas e eficazes de combater ou mitigar os seus efeitos. Para que isso ocorra, torna-se necessário identificar os fatores causadores e as possíveis consequências dessa manifestação patológica, ao que se propõe cumprir o presente estudo.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi utilizado um concreto de alta resistência denominado graute, que possui bastante fluidez, permitindo a sua utilização em áreas de difícil acesso, bem como outros elementos da alvenaria estrutural que promovem a sua sustentação e estabilidade.

Através da análise teórica e prática o estudo pretende obter respostas que possibilitem identificar com grau elevado de convicção os fatores determinantes para o aparecimento das eflorescências, especificamente as que estão atingindo os blocos estruturais cerâmicos e o graute utilizados em uma edificação na cidade de Lajeado/RS, bem como descobrir formas de combater ou minimizar os seus impactos na integralidade da referida estrutura.

## 1.1 Área e limitação do tema

O trabalho em questão se desenvolverá na área de patologia das construções, especificamente no estudo das eflorescências através de uma análise das causas e os danos que essa patologia pode ocasionar na estrutura.

## 1.2 Justificativa

Com o aumento constante das civilizações e impulsionada pelo crescimento da economia, a construção civil foca cada dia mais na otimização dos seus processos e no encurtamento dos prazos para a obtenção de maiores retornos financeiros. Mesmo com as inovações tecnológicas, as patologias nas obras estão se tornando recorrentes, podendo gerar a desvalorização dos empreendimentos ou gastos astronômicos para o seu devido tratamento e correção. Segundo Neves e Vasquez (2021, p.13), “a pesquisa das patologias nas construções tem grande relevância na procura de qualidade dos procedimentos construtivos e no progresso da habitabilidade e resistência das edificações”.

Nesse contexto, considerando que as eflorescências estão se tornando frequentes nas obras de engenharia e por haver breve conhecimento sobre o assunto, que não permite identificar com precisão as causas e os efeitos dessa manifestação patológica, bem como pela escassez de material bibliográfico específico sobre o tema, torna-se importante esse estudo.

Para fins de qualidade e vida útil da estrutura é prudente e necessário saber identificar se as eflorescências ocasionam apenas problemas estéticos, ou se afetam outras etapas construtivas, como por exemplo, dificuldade na colocação de revestimentos em razão da falta da aderência entre a camada de reboco e a área afetada.

Da mesma forma, é importante investigar as consequências no caso da referida patologia se manifestar nos elementos que compõem a estrutura que tem a função de resistir aos esforços submetidos pelo carregamento vertical e horizontal e podendo assim vir a comprometer a segurança, se revelando um problema de natureza gravíssima.

Enfim, independente do grau de impacto dessa manifestação patológica no elemento estrutural, a pesquisa específica sobre esse tema é relevante e contribui para a área da construção civil permitindo maior capacidade de identificar fatores determinantes para a ocorrência das eflorescências. No mesmo propósito, o conhecimento possibilita o acompanhamento e o correto tratamento da anomalia, mediante a adoção de medidas necessárias para sanar essa patologia

como por exemplo através da substituição de algum insumo que possa estar causando o referido problema.

### **1.3 Objetivos**

Os objetivos do trabalho serão divididos em objetivos gerais e objetivos específicos, que estarão dispostos a seguir.

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral do trabalho é investigar e analisar as causas e danos ocasionados pelas eflorescências sobre uma edificação em alvenaria estrutural cerâmica.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Verificar a formação da eflorescência por meio de ensaios experimentais realizados em laboratório e na obra.
- Investigar se as eflorescências afetam apenas a parte estética ou podem comprometer a função estrutural.
- Realizar ensaios para averiguar os impactos da eflorescência sobre o revestimento.
- Investigar quais os elementos que estão mais propícios para a formação da eflorescência, sendo eles: o graute, o bloco cerâmico e a argamassa de assentamento.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Conceito de patologia**

*Bolina, et al. (2019)* conceituam patologia no âmbito da construção civil como uma ciência que estuda a origem, os sintomas e a natureza das manifestações patológicas, esclarecendo que o termo deriva de palavras gregas: *páthos* (doença, sofrimento) e *logia* (estudo, ciência). No entendimento dos autores pode ser compreendido como um desvio da condição normal de usabilidade de um elemento.

Assim como qualquer doença tratada pela medicina, a manifestação patológica em elementos construtivos apresenta certos sintomas que permitem identificar e tratar o problema antes que evolua para um quadro de maior gravidade.

Segundo os autores, muitos profissionais se referem ao estudo da patologia de forma equivocada, não a diferenciando de manifestações patológicas, entretanto, os conceitos diferem, sendo a primeira uma ciência que estuda as origens, sintomas e mecanismos de tratamento do problema e a segunda o problema em si, fisicamente visível.

### **2.2 Vida útil e durabilidade**

Segundo a NBR 15575-1: 2021, o critério de vida útil (VU) de uma edificação é definido pelo tempo em que ela atende aos fins para os quais foi projetada e construída, mediante a execução dos processos e manutenções por ela especificadas

Importante diferenciar vida útil (VU) de vida útil de projeto (VUP), sendo que a primeira é o tempo em que efetivamente uma edificação se presta à finalidade proposta pelo projeto, desde que corretamente executada e submetida as manutenções necessárias definidas em normas regulamentares. Já a VUP consiste na estimativa teórica de tempo prevista no projeto seguindo o atendimento aos mesmos critérios da vida útil antes mencionados.

De acordo com *Bolina, et al. (2019)*, no Brasil os projetos estimam a vida útil das edificações superior a 50 anos, porém, com condições de uso e habitabilidade além desse período. Os autores salientam ainda que vida útil de projeto não significa apenas o período possível de utilização, mas também o tempo em que ela atenda a finalidade proposta definida previamente.

Em complemento, a NBR 15575-1: 2021 também estabelece como dever do projetista a especificação dos materiais e processos por ela definidos e, na hipótese de não haver especificação satisfatória do desempenho de determinado produto, por precaução cabe a ele buscar informações complementares.

Na elaboração do projeto os objetivos principais devem sempre focar na segurança e durabilidade, conceitos estes que devem ser buscados incessantemente pelos profissionais da construção civil, na medida possuem a responsabilidade de zelar pela integridade dos usuários.

Quanto à durabilidade, a NBR 15575-1: 2021 conceitua como sendo a capacidade da edificação de desempenhar durante a sua vida útil as funções inicialmente propostas mediante o atendimento das condições especificadas no manual de uso, operação e manutenção. Complementando, Bolina, *et al.* (2019), destacam que quando um produto deixa de atender as funções que se propôs originalmente, a sua durabilidade se extingue, seja pela degradação que interfere negativamente no seu desempenho ou quando perde sua importância ao ser ultrapassado por inovações.

Dentro deste contexto, Possan e Demoliner (2013, p.6) acrescentam que:

A durabilidade não é uma propriedade intrínseca dos materiais, mas sim uma função relacionada com o desempenho dos mesmos sob determinadas condições ambientais. O envelhecimento destes resulta das alterações das propriedades mecânicas, físicas e químicas, tanto na superfície como no seu interior, em grande parte devida à agressividade do meio ambiente.

Para uma estrutura obter alta durabilidade e atingir o período estimado em projeto, devem ser seguidos alguns processos recomendados sobre tecnologia do concreto, merecendo destaque a relação água/cimento, a correta cura evitando a secagem repentina o que confere mais resistência ao concreto a longo prazo. Além disso, Rougeau e Guiraud (2014) concluem que o cobrimento das armaduras e as características do concreto empregado são de fundamental importância para a durabilidade das obras.

### **2.3 Conceito de manutenção**

A NBR 15575-1: 2021 se refere à manutenção como sendo o conjunto de ações adotadas para evitar que a capacidade funcional de uma edificação seja alterada, tanto para manter quanto para recuperar sua condição original atendendo as necessidades dos usuários. No mesmo sentido, Bolina, *et al.* (2019) conceituam manutenção como sendo um conjunto de técnicas e

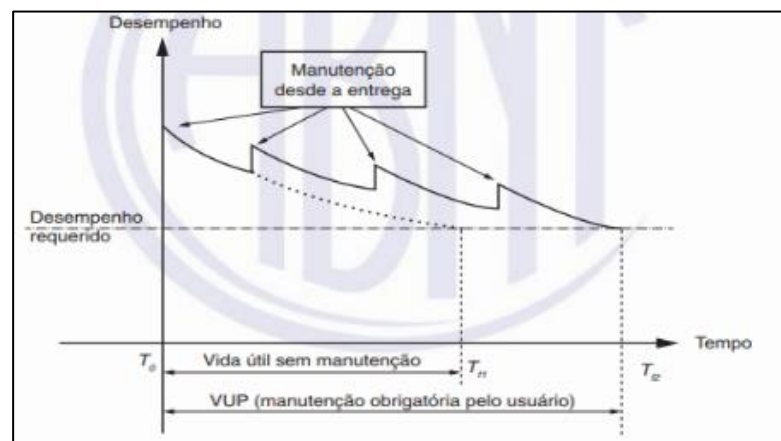


medidas administrativas que visam conservar ou restabelecer ao item o seu estado inicial, possibilitando que cumpra as suas funções.

Independente da qualidade da execução e dos materiais empregados, toda estrutura deve receber manutenções e reparos ao longo do tempo para preservar a suas características, tanto estéticas quanto de segurança, pois as propriedades dos materiais que a integram possuem uma vida útil, assim como a maioria dos produtos. Inclusive a manutenção periódica acompanhada por profissional habilitado pode até mesmo estender o prazo de validade inicialmente determinado no projeto. Bolina, *et al.* (2019) afirmam que uma construção somente atingirá a vida útil determinada se houver uma série de manutenções ao longo do tempo, principalmente na sua fase de utilização, evitando e corrigindo qualquer perda de desempenho que comprometa a sua integridade.

O processo de manutenção pode ser dividido em duas formas: a manutenção corretiva, que visa corrigir um problema já identificado e a manutenção preventiva, que é realizada com antecedência para evitar que aconteça algo mais grave e comprometa a segurança de uma edificação. De acordo com a figura 1, é possível perceber como a manutenção recorrente exerce um papel determinante para atingir a vida útil para o qual foi projetada a edificação, de modo que, não havendo tal processo, a durabilidade será reduzida.

**Figura 1 - Gráfico manutenção periódica**



Fonte: NBR 15575-1, 2013, p. 49.

## 2.4 Patologias na Construção Civil

As manifestações patológicas causam enormes transtornos e são responsáveis por elevar de forma considerável os custos finais de uma edificação. De acordo com Gonçalves (2015), as causas desses fenômenos decorrem da junção de vários fatores, com destaque para a falta de

cuidado e a ilusória percepção de que uma estrutura de concreto é eterna e não precisa de manutenção e/ou reparos.

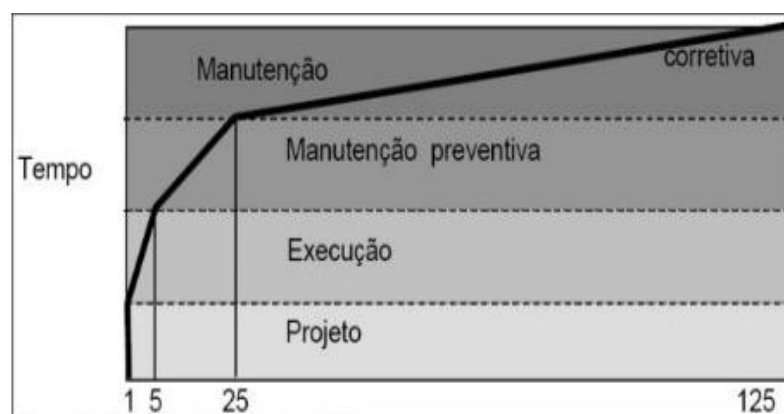
Possan e Demoliner (2013) inclusive entendem tais manifestações patológicas como preocupantes para os atuantes na construção civil, razão pela qual chamam a atenção para um maior controle dos processos, especialmente para que os projetos atentem quanto à durabilidade das estruturas, sendo da mesma importância o monitoramento e a manutenção das construções já existentes.

Seguindo a Lei de Sitter de 1984, que é um estudo que enfoca a prevenção mediante a rápida intervenção como redução de custos, Tutikian e Pacheco (2013) afirmam que a ação imediata nas etapas iniciais de uma obra na qual seja identificado algum sintoma do problema, até mesmo pela dúvida, evita custos desnecessários gerando menor impacto econômico em relação à proposta inicial.

Entretanto, estudos demonstram que as modificações e correções no curso da obra elevam o seu custo para cinco vezes, todavia, em casos mais críticos, quando há a necessidade de manutenções corretivas após a conclusão de etapas, os valores podem alcançar cento e vinte e cinco vezes do valor inicial, o que interfere diretamente e de forma negativa no orçamento previsto para a obra.

A figura 2 retrata a proposta de Sitter quanto à relação *tempo x momento da intervenção* e segue uma progressão geométrica de razão 5.

**Figura 2 - Lei de Sitter**



Fonte: HELENE; FIGUEIREDO, 2003 apud PIRES, 2013, p. 16.

Muitas das manifestações patológicas encontradas nas obras são ocasionadas por erros de projeto que carecem de informação, que apresentam medidas incorretas, mal dimensionamento estrutural, escala dos elementos não condizente com o real. Do mesmo modo, os cobrimentos

das armaduras fora das especificações das normas técnicas em relação à agressividade do ambiente, a exemplo das edificações em áreas que contenham alta salinidade, exposição a gases poluentes oriundos de indústrias que, embora pareçam inofensivos, causam agressões silenciosas e progressivas nas estruturas.

Por outro lado, a participação humana tem parcela significativa no êxito do projeto, na medida em que a atenção do profissional projetista pode ser prejudicada pelo excesso de tarefas, cobranças para cumprimento de prazos, impedindo as verificações devidas e configurando a negligência do mesmo, ainda que não intencional.

Nesse sentido Gonçalves (2015, p. 29) enfatiza que “um grande avanço na obtenção da melhoria de qualidade da construção pode ser alcançado partindo-se de uma melhor qualidade dos projetistas”, reforçando ainda que a fase de planejamento é decisiva na velocidade, custos e qualidade da edificação.

Ocorrências dessa natureza também se verificam por erros no processo executivo, tais como: a utilização de mão de obra desqualificada sem o conhecimento técnico necessário para a execução da atividade, desatenção dos responsáveis pela conferência das atividades desenvolvidas, pressa na realização das tarefas, utilização de materiais de qualidade inferior a recomendada com a intenção de baratear os custos.

Da mesma forma, falhas na execução podem decorrer da desatenção dos processos essenciais na realização de alguma etapa podendo comprometer o conjunto. Isso pode ser atribuído à carência de profissionais tecnicamente qualificados para atuar nos canteiros de obras, sendo que muitas vezes o que se verifica é a atuação sem o mínimo de conhecimento necessário para desempenhar função de tamanha importância.

Como já mencionado, as anomalias em estudo podem estar relacionadas a diversos fatores e apresentarem diferentes “perigos”, podendo afetar apenas a parte estética ou comprometer a estrutura ao ponto de levá-la ao colapso. De qualquer forma, independente do grau de importância e gravidade, a manifestação patológica, depois de identificada, deve ser monitorada e o quanto antes corrigida para evitar maiores danos. Merece destaque que esse tipo de ocorrência não se constitui em fato isolado e sim, decorre de um conjunto de práticas errôneas ao longo da execução que, se não sanadas imediatamente, culminam em problemas futuros de proporções variadas.

O processo desde a identificação até o tratamento deve respeitar algumas etapas, conforme descrito por Bolina, *et al.* (2019):

- Sintomatologia: entender os reais motivos que originaram o problema;

- Diagnóstico: investigar e esclarecer as origens, a forma de manifestação, sintomas e agentes causadores;
- Anamnese: estudo de casos de anomalias da mesma natureza pela percepção dos envolvidos, análise de projeto, verificação de construções próximas, dentre outros;
- Prognóstico: análise da progressão do problema quanto à sua estabilidade ou possibilidade de evolução para quadros mais graves;
- Terapia: medidas para neutralizar e corrigir o problema, devolvendo o desempenho e a qualidade para a estrutura.

## **2.5 Principais tipos de patologias**

A seguir serão apresentados os principais tipos de patologias recorrentes nas obras de engenharia. De acordo com Pires (2013), os problemas se distinguem uns dos outros conforme a intensidade e as suas formas de manifestação. Diante disso, será realizada uma descrição sucinta da respectiva manifestação patológica tendo maior destaque para as eflorescências, tendo em vista que é o problema alvo desse estudo.

### **2.5.1 Fissuras**

Fissuras são manifestações fisicamente apresentadas como uma abertura em linha reta ou curva alertando para uma situação de perigo que pode comprometer a durabilidade da estrutura, bem como gerar insegurança nos usuários da edificação no que diz respeito à sua estabilidade e resistência.

As causas prováveis são diversas, tais como: recalque de fundação, retração do concreto, variações de temperatura, sobrecarga estrutural, dentre outros. “Conceitualmente, as aberturas são caracterizadas como microfissuras, fissuras, trincas, rachaduras e fendas de acordo com a sua amplitude” (BOLINA *et al.*, 2019, p. 34)

As microfissuras e fissuras são aberturas superficiais com grau inicial de agressividade pouco relevante para a estrutura, todavia facilitam a entrada de água e gases no interior do concreto podendo gerar maiores complicações. Já as trincas, as rachaduras e as fendas requerem maior atenção e uma rápida intervenção se faz necessário por apresentarem uma abertura significativa vulnerando o elemento estrutural que perde a capacidade física de resistir aos esforços, podendo levá-la ao colapso sem aviso prévio.

De acordo com Resende, *et al.* (2018) as fissuras surgem pela contração dos elementos estruturais expostos às variações significativas de temperatura, resultando em esforços de tração sobre o concreto, que se for superior à sua resistência pode ocasionar o surgimento da referida patologia. Thomaz (2020) acrescenta que tais movimentações são dificultadas pelos vínculos que integram a estrutura, gerando tensões.

Na lição de Casotti (2007, p. 14) “a magnitude das tensões desenvolvidas é função da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto pelos vínculos a esta movimentação e das propriedades elásticas do material”. Soares, *et al.* (2021), por sua vez, vai além ao afirmar que paredes com vãos extensos favorecem o surgimento de fissuras, o que pode ser evitado ou ter as consequências amenizadas pela utilização de juntas de dilatação para reduzir as tensões da movimentação dos elementos estruturais.

Thomaz, 1990 apud, Tramontin, *et al.*, 2013, p. 775, destaca os fatores principais para o surgimento das fissuras como sendo:

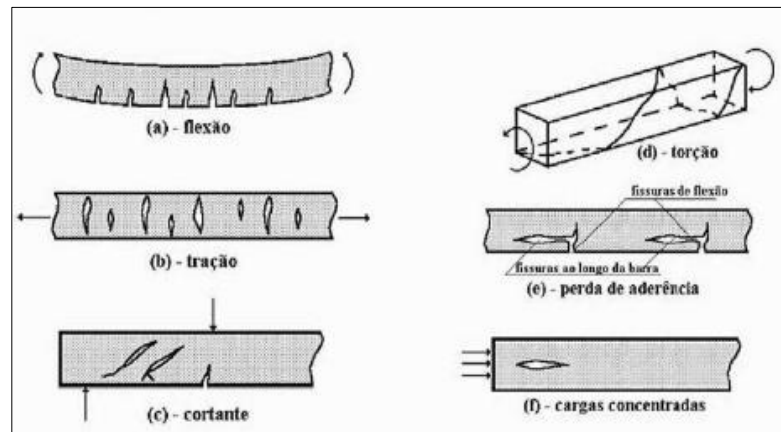
A falta de qualificação profissional, a utilização de materiais fora das especificações, o emprego inadequado ou equivocado de técnicas de construção, a falta de fiscalização na execução da obra e falhas de projeto podem ser colocados como causas principais desta recorrência.

As fissuras se subdividem em verticais, horizontais e inclinadas. As primeiras são descritas por Mohamad (2015) como aquelas submetidas à compressão excessiva pelo carregamento estrutural superior ao recomendado, tendo como resultado a deformação da argamassa na alvenaria e, caso esta seja superior a eventual deformação dos blocos, ocasionará esforços laterais de tração.

As fissuras horizontais surgem da sobrecarga vertical que atuam na direção ao eixo perpendicular ao plano da parede, também por retração decorrente de secagem gerada por variações térmicas e por diferentes expansões entre os elementos.

Por último, as fissuras inclinadas se manifestam próximo às aberturas destinadas para as esquadrias em razão dos esforços verticais que não encontram resistência devido à falta de elemento estrutural de carga (verga e contraverga). Decorre também de recalques oriundos da fundação pela movimentação do solo não acompanhada pela estrutura, gerando a fissura. São diversas as configurações genéricas ocasionadas pelas fissuras, como exposto na figura 3.

**Figura 3 - Configuração das solicitações**



Fonte: SOUZA; RIPPER (2008, p. 58).

### 2.5.1.1 Fissura devido à sobrecargas

As fissuras causadas pelas sobrecargas se devem às tensões não absorvidas de forma homogênea pelo elemento estrutural. Para Neville (2016), isso decorre da inadequação ou má execução de um projeto estrutural que não é realizado conforme as especificações técnicas. Diante disso, Braga (2010, p.36) complementa:

A atuação das sobrecargas, previstas ou não em projeto, pode produzir o fissuramento de componentes de concreto armado sem que isto implique, necessariamente ruptura do componente ou instabilidade da estrutura. Mas há casos em que não há a possibilidade da redistribuição de todas as tensões, comprometendo a estabilidade da estrutura.

### 2.5.1.2 Fissura por retração do concreto

Esse tipo de fissura normalmente é ocasionado pela perda de água aliada com as tensões de movimentação dos elementos estruturais ocasionando a retração do concreto além do esperado, conforme entendimento de Kammler, *et al.* (2016). Nessas circunstâncias, Neville (2016) acrescenta que a retração do concreto irá ocorrer de forma mais intensa de acordo com a quantidade de água utilizada na mistura.

A temperatura, umidade, direção e a intensidade dos ventos são fatores externos que contribuem para a evaporação da água presente no concreto. Diante disso, a adoção de medidas que evitem a evaporação precoce da água pode evitar ou pelo menos minimizar a fissuração. Em complemento, o autor afirma que quanto maior a utilização de cimento maior a

probabilidade de ocorrer fissura, todavia a adoção de medidas que preservem a adequada relação água/cimento reduzem significativamente esse risco.

As fissuras ocasionadas pela retração do concreto são formadas por linhas irregulares e podem se disseminar por grande parte da área concretada, conforme revela a figura 4.

**Figura 4 - Fissura por retração do concreto**



Fonte: Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/retracao-do-concreto-o-que-e-e-como-minimiza-la-2/>. Acesso em: 26 abril 2022.

### **2.5.1.3 Fissura por recalque de fundações**

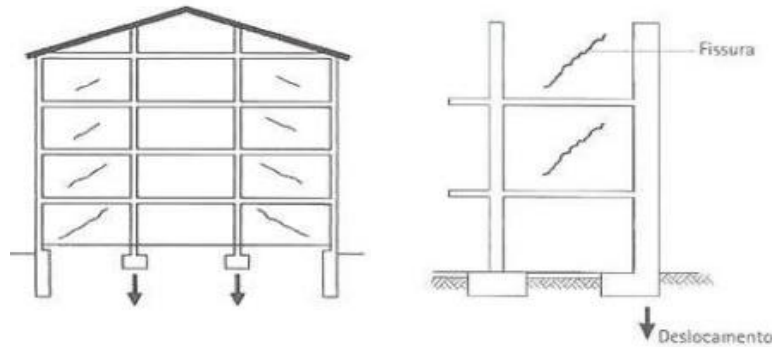
O recalque das fundações é um fenômeno decorrente da movimentação do solo que gera tensões em toda a estrutura devido ao desnivelamento provocado, o que é melhor explicado na lição de Braga (2010, p. 49): “Os solos são constituídos por partículas sólidas, entremeadas por água, ar, e muitas vezes, material orgânico. Sob o efeito de cargas externas, em maior ou menor proporção, se deformam”. Complementa Milititsky, *et al.* (2008) que as fissuras ocorrerão quando as tensões geradas por essas movimentações superarem a resistência dos componentes da edificação ou da conexão entre os seus elementos.

Esses recalques, muitas vezes são imperceptíveis e as suas consequências são insignificantes no contexto geral da obra, entretanto, em alguns casos provoca o surgimento de fissuras que, no entendimento de Kammler, *et al.* (2016), num primeiro momento aparecem na inclinação dos cantos da edificação, mas podem progredir para uma fissura vertical.

Para complementar, Silva e Sobrinho (2016) enfatizam que as fissuras por recalques surgem inicialmente nos pavimentos térreos, porém é plausível estar atento para a possibilidade de ocorrer fissuração também nos pavimentos superiores.

A demonstração das fissuras por recalque de fundações é representada na figura 5, conforme segue:

**Figura 5 – Fissuras causadas por recalque de fundação**



Fonte: CONSOLI; MILITITSKY; SCHNAID, 2008, p. 24.

#### **2.5.1.4 Fissuras devido às movimentações térmicas**

Este tipo de fissuras se deve às movimentações térmicas ocasionadas pela variação da temperatura que age de diferentes formas sobre as estruturas. Isso porque os elementos que compõem o sistema estrutural possuem coeficientes de dilatação térmica distintos de modo que tais variações não ocorrem de forma homogênea.

No entendimento de Silva e Sobrinho (2016) a variação da temperatura atua de forma significativa de modo a comprimir e tracionar a peça estrutural e assim gera esforços passíveis de desencadear fissuras. Em complemento, Braga (2010, p. 20) refere: “A intensidade das tensões depende das propriedades físicas dos próprios materiais, da variação da temperatura e do grau de restrição imposto pelos vínculos entre os elementos”.

#### **2.5.2 Corrosão das armaduras**

A corrosão das armaduras, segundo Melo (2011), ocorre pela interação destrutiva de um material com o ambiente ao qual ele está exposto, devido a um processo químico ou eletroquímico.

As armaduras das estruturas são protegidas por uma barreira de proteção física denominada de cobrimento, que tem como objetivo evitar a entrada de agentes agressivos presentes no meio externo. Nesse aspecto, esclarece Melo (2011) que, ainda que o cobrimento de certa forma proteja a armadura, não se pode esquecer que o concreto é um material permeável



que permite a atuação de agentes agressivos no seu interior através de fissuras ou imperfeições nele contidas. Dessa forma é de vital importância observar os processos e técnicas para evitar a ocorrência de fissuras e demais manifestações patológicas já abordadas.

Nesse contexto, o índice de permeabilidade do concreto tem influência direta no processo corrosivo juntamente com a ação da água e do oxigênio. A relação elevada de água/cimento acentua consideravelmente a permeabilidade do concreto que se torna mais poroso, com vazios no seu interior que permitem a entrada de gases e líquidos com mais facilidade, ocasionando assim o fenômeno corrosivo, cujo maior dano é a perda da resistência mecânica do aço.

Conforme Soares, *et al.* (2015), sem a presença de água no ambiente em que o concreto está inserido, dificilmente ocorrerá a corrosão da armadura, pois como mencionado anteriormente, a água é um fator determinante para o desencadeamento do processo. Da mesma forma, estando o concreto totalmente submerso, sem a presença de oxigênio, a ocorrência da corrosão será mínima ou inexistente.

Por sua vez, Neville e Brooks (2013, p. 271), explicam que: “A corrosão do aço ocorre devido à ação eletroquímica que acontece quando dois metais diferentes estão em contato elétrico, na presença de umidade e oxigênio”. Sousa e Ripper (2009) complementam que a corrosão é um processo que começa externamente avançando para o interior da estrutura, transformando o aço resistente em ferrugem, que substitui parcialmente a área do aço inicial que se torna reduzida que, por consequência, perde boa parte do seu poder de resistência.

Conforme Mehta e Monteiro (2008), a transformação do ferro em ferrugem aumenta de forma considerável o volume da seção, que pode chegar a 600% do seu estado original, conforme o grau de oxidação, o que pode ser a principal causa da expansão e fissuração do concreto.

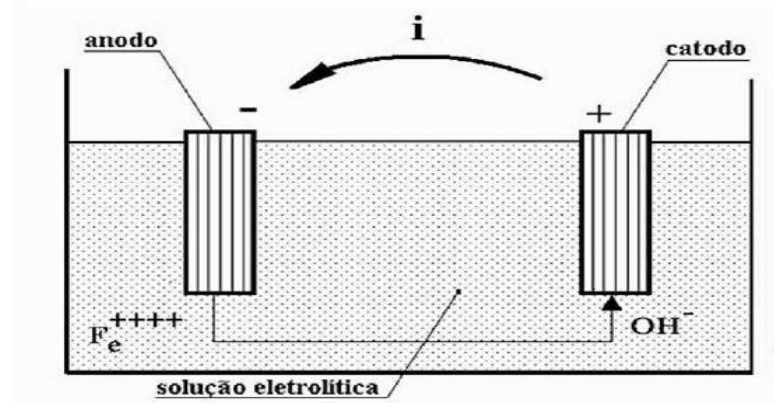
A corrosão das armaduras dentro do concreto ocorre exclusivamente em três hipóteses no entendimento de Fusco (2008) as quais são: a redução do pH, por efeito da carbonatação da camada de cobrimento, a presença de íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) ou de poluição atmosférica acima dos limites, e devido a lixiviação do concreto onde a água percole através de sua massa.

Já Souza e Ripper (2009, p. 67), afirmam que o efeito corrosivo é um processo eletroquímico ocasionado por uma diferença de potencial elétrico, que geram um efeito pilha (abaixo explicado) pela condução da corrente elétrica do ânodo para o cátodo por meio da água, bem como do cátodo para o ânodo devido pela diferença de potencial elétrico. Ainda sobre o efeito pilha que ocorre no concreto armado, os autores complementam:

As regiões de menor concentração de  $O_2$  são anódicas. Da combinação do cátion  $Fe^{++}$  com os ânions  $(OH)^-$  resulta o hidróxido ferroso, de cor amarelada, depositado no anodo; no catodo deposita-se o hidróxido férrico, de cor avermelhada. Estes dois produtos constituem a ferrugem, evidência mais clara da corrosão do aço.

A figura 6, demonstra o efeito pilha provocado pela troca de corrente elétrica entre o ânodo e cátodo:

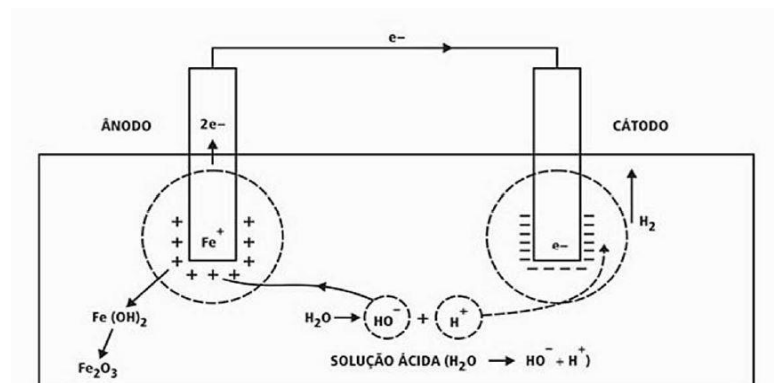
**Figura 6 – Efeito pilha**



Fonte: SOUZA; RIPPER, 2009, p. 67.

A figura 7 proposta por Fusco (2008) permite identificar o movimento de íons  $H^+$  para o cátodo mediante a liberação de hidrogênio. Já os íons  $OH^-$  convergem para o ânodo e ao reagir com os íons ferrosos ( $Fe^{++}$ ) formam o  $Fe(OH)_2$ , que em conjunto com outras reações dão causa à ferrugem, constituída e representada por  $Fe_2O_3$ .

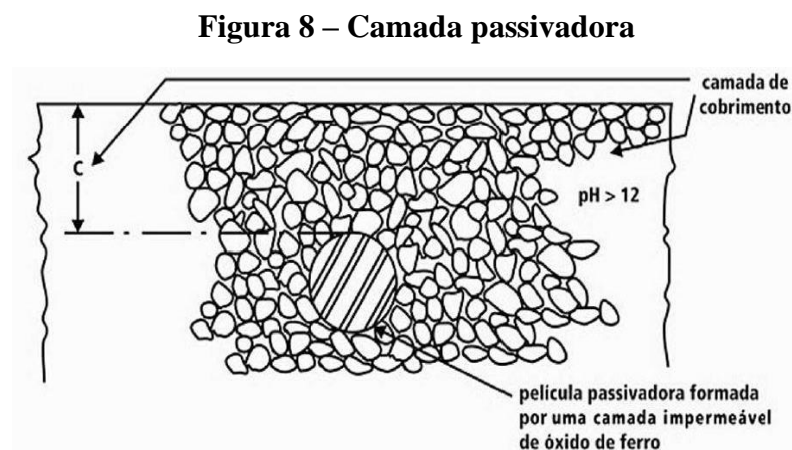
**Figura 7 – Mecanismo da corrosão**



Fonte: FUSCO, 2008, p. 49.

Neville e Brooks (2013) explicam que o hidróxido de cálcio possui pH aproximado de 13, com alcalinidade que evita a corrosão da armadura, a qual possui na superfície do metal

uma camada protetora conhecida como passivação, que será perdida quando o pH do concreto ficar abaixo de 11. Nessa hipótese será comprometida a capacidade de resistência da referida camada protetora às reações químicas, havendo a sua deterioração. Nesse sentido, complementa Fusco (2008), que a existência de camada passivante e pH do concreto acima de 12 impossibilita a corrosão da armadura, pois impedem a dissolução dos íons  $Fe^{++}$  mesmo que expostos a um meio que contenha oxigênio e umidade. A figura 8 possibilita visualizar a camada passivadora mencionada.



Fonte: FUSCO, 2008, p. 48.

Para Baroghel-Bouní, *et al.* (2014), as manifestações decorrentes do processo corrosivo são ocasionadas por reações químicas endógenas iniciadas muito antes desses problemas se tornarem visíveis, a exemplo das manchas contendo ferrugem, fissuras, armaduras aparentes corroídas, destacamento do concreto, entre outros.

Tendo em vista a gravidade da corrosão nas estruturas que ficam fragilizadas e podem sucumbir quando expostas às intempéries, é prudente adotar medidas preventivas para minimizar e até impedir a sua ocorrência. Dentre tais medidas podemos citar a redução da relação água/cimento, o aumento da espessura dos cobrimentos, o controle da dimensão do agregado e a utilização de cimento adequado para o ambiente em que a estrutura estiver inserida.

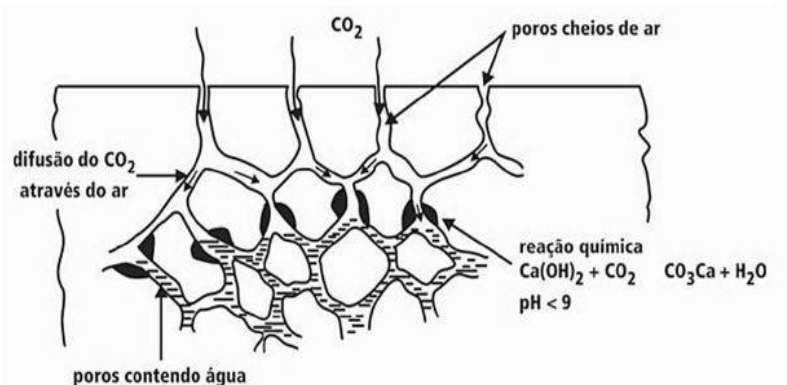
A adoção de ações preventivas, a exemplo das acima citadas, além de minimizar eventuais problemas relacionados à corrosão das armaduras, contribuem para uma maior durabilidade e vida útil da edificação, evitando assim transtornos para o construtor e principalmente para a segurança do usuário.

### 2.5.3 Carbonatação

Sousa e Gomez (2018, p. 2) conceituam carbonatação como: “Um processo físico-químico caracterizado pela formação de sais de carbonato pela reação de neutralização do hidróxido de cálcio (CH) pelo gás carbônico (CO<sub>2</sub>)”. Segundo Vaghetti (2005) tal manifestação patológica se deve às reações químicas ocorridas entre os elementos ácidos presentes no meio ambiente com o líquido intersticial existentes nos poros do concreto.

Conforme Fusco (2008), se a peça de concreto não estiver completamente submersa, a exposição ao ar permitirá a penetração do gás carbônico (CO<sub>2</sub>) atingindo os poros úmidos que contém o hidróxido de cálcio dissolvido, iniciando assim a reação de carbonatação, conforme processo demonstrado na figura 9. O autor complementa ainda que se o pH presente no interior do concreto for menor do que 9, a camada de passivação que envolve as barras de aço será perdida, comprometendo a sua proteção.

**Figura 9 – Processo de carbonatação do hidróxido**



Fonte: FUSCO, 2008, p. 53.

De acordo com Possan (2010), a carbonatação avança proporcionalmente à facilidade de disseminação do CO<sub>2</sub> no interior do concreto em um determinado tempo, tendo como principais fatores para a ocorrência do fenômeno as condições ambientais e a sua exposição aos agentes agressivos.

Sousa e Gomez (2018) complementam que o aumento da temperatura propicia maior movimentação dos íons e com isso, a velocidade das reações químicas se eleva. Da mesma forma a umidade relativa do ambiente influencia na quantidade de água presente nos poros do concreto, determinando a velocidade da dispersão dos gases no seu interior. Neville e Brooks (2013) salientam que, caso o concreto seja permeável e a carbonatação atinja a armadura pela presença de água e oxigênio, terá início o processo de corrosão.

A carbonatação se constitui em um agente facilitador do processo de corrosão das armaduras presentes nas estruturas de concreto. Nesse sentido, Possan (2010) esclarece que a menor alcalinidade do concreto pode modificar as condições de estabilidade da camada passivante, criando condições favoráveis para o processo corrosivo.

Diante do alto grau de agressividade da carbonatação para a estrutura, devem ser observadas as práticas e técnicas corretas para evitar o problema e caso venha a surgir, deve ser combatida de forma rápida e eficaz para minimizar os danos.

A adequada relação água/cimento e o atendimento do cobrimento determinado em projeto em conformidade com as normas técnicas impede a entrada de agentes agressores no interior da estrutura, atendendo aos requisitos de segurança e eficácia. Dessa forma, quanto menor a quantidade de água a ser utilizada na composição do concreto, maior será a sua durabilidade. Isso se deve pela diminuição da porosidade que impede a passagem de gases e líquidos oriundos do meio externo.

Para Neville e Brooks (2013), se a camada de cobrimento está adequada, a passivação da armadura é preservada pela vida útil da estrutura. Em contrapartida, Baroghel-Bouní, *et al.* (2014), defende que apenas o controle do cobrimento não irá garantir a durabilidade, sendo também essencial o controle da permeabilidade e da difusão de líquidos e gases.

#### **2.5.4 Lixiviação**

A NBR 6118 (2014, p. 15) conceitua a lixiviação como “o mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras”. Souza e Ripper (2009) complementam que tal manifestação patológica consiste na dissolução e arraste do hidróxido de cálcio que é liberado na hidratação do cimento e que permanece na sua forma sólida, contribuindo para o processo de corrosão das armaduras. Para Bauer (2008), a dissolução é mais elevada quanto mais pura for a água. Essa pureza está relacionada com a quantidade de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, de modo que, quanto menor for a quantidade desses componentes, mais fraca é a sua dureza.

Conforme Neumann (2019), o arraste do hidróxido de cálcio para o meio externo aumentará a porosidade do concreto propiciando a diminuição das suas propriedades mecânicas, como a resistência à compressão da estrutura. Para Fusco (2008), a lixiviação além de aumentar a porosidade, causa a diminuição do pH no interior do concreto. Entretanto, Mehta e Monteiro (2008) defendem que o aumento da porosidade torna o concreto mais vulnerável e

suscetível à ocorrência de fenômenos como erosão e abrasão que causam o desgaste superficial do material. Nesse ponto, Neville (2016, p. 519) complementa:

Quando o pH baixo atinge a região próxima à armadura, o filme de óxido protetor é removido, possibilitando a ocorrência da corrosão - desde que haja o oxigênio e a umidade necessários para as reações. Por essa razão, é importante conhecer a profundidade de carbonatação e, em especial, saber se a frente de carbonatação atingiu a superfície da armadura.

Segundo Fiorotti, *et al.* (2017) a lixiviação ocorre devido à presença de umidade, por meio de fissuras, concretos com relação água cimento elevada, permitindo a percolação da água com mais facilidade no interior do concreto. A NBR 6118: 2014 recomenda restringir a fissuração a fim de evitar o ingresso de água na estrutura e fazer uso de produtos específicos, os hidrófugos, para a proteção das áreas que ficam expostas às intempéries.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), além de propiciar a perda da resistência mecânica do concreto, a lixiviação do hidróxido de cálcio, também ocasiona na estrutura danos estéticos, pois o produto lixiviado, no momento que interage com o CO<sub>2</sub> que está presente na atmosfera, acaba formando uma camada de cor esbranquiçada na superfície. Esse fenômeno é conhecido como eflorescência, e será tratado com mais detalhes no decorrer do trabalho.

### **2.5.5 Infiltração**

As infiltrações são manifestações patológicas que originam inúmeros outros problemas nas estruturas. Além de facilitar o processo de corrosão do aço, ela também é responsável por ocasionar danos estéticos, como o aparecimento de manchas, bolor e mofo. As precipitações são responsáveis por grande parte dos casos de infiltração em estruturas de concreto, dependendo da intensidade e a direção dos ventos, a água pode infiltrar-se na estrutura por meio de pequenas fissuras, ou áreas que não passaram por um processo de impermeabilização. Essa água dentro do concreto, poderá percolar até a armadura, ocasionando sérios riscos estruturais

Para Mehta e Monteiro (2008), um concreto dosado e lançado de forma adequada, com um processo de cura correto, deveria ser impermeável, e atender à vida útil na maioria das condições. Entretanto, devido à exposição a agentes agressivos provenientes do ambiente, fissuras e microfissuras podem surgir e se disseminar, e quando se conectam umas com as outras, fazem com que concreto acabe perdendo a sua capacidade estanque, trazendo vulnerabilidade para a estrutura.

A manifestação patológica pode ocorrer por diversos fatores, entre eles destacam-se as falhas na execução da estrutura, não respeitar os cobrimentos propostos em norma, falta de projeto de impermeabilização, utilização de insumos de baixa qualidade, entre outros. Um concreto com uma alta relação água/cimento também é um determinante, pois apresentará porosidade elevada maior índice de vazios no seu interior. Em relação à porosidade do concreto, Neville (2016, p. 504) acrescenta:

Caso a porosidade seja elevada e os poros se intercomunique, eles contribuem para o transporte de fluidos através do concreto, de modo que sua permeabilidade também é elevada. Por outro lado, caso os poros sejam descontínuos ou, de alguma maneira, ineficazes para o transporte, o concreto tem baixa permeabilidade, mesmo que sua porosidade seja elevada.

De acordo com Mohammad (2015), as infiltrações podem ocasionar manchas, corrosões, bolor, eflorescências e estão ligadas à falta de elementos construtivos durante a execução da obra, como pingadeiras e peitoris, fachadas em que a água não escoar de forma correta, não impermeabilização de lajes e também às inclinações inadequadas em que fique água depositada, não sendo possível o escoamento da mesma de forma natural. Segundo Maia (2018), identificar uma área que está sujeita a infiltração, de certa forma, não é difícil, porém, quando ela atinge locais de difícil visualização pode passar despercebido, aumentando os riscos de colapso repentino da estrutura.

Uma das formas mais comuns de combater as infiltrações é por meio do isolamento de possíveis áreas que pode ocorrer o ingresso indesejável de água na estrutura. Para Thomaz, 1990 apud Antunes, 2011 as infiltrações devido às precipitações vão depender de alguns fatores: espessura e rugosidade da parede, qualidade do revestimento, orientação da fachada devido à direção dos ventos, intensidade e duração da precipitação.

Dessa forma, quando a impermeabilização é realizada na fase inicial da obra, é possível evitar grande parte das manifestações patológicas nas edificações. Segundo Pontes (2018, apud Porciúncula, 2017), os custos relacionados à impermeabilização em uma obra impactam em cerca de 1% a 3% do orçamento, o que o torna um valor irrisório se for pensar no orçamento total de uma construção, tendo em vista o benefício ocasionado na edificação, formando uma camada impermeável, impedindo a entrada de água e potenciais agentes agressivos ao concreto.

Segundo Souza e Farias (2022), algumas soluções podem ser planejadas e executadas para evitar a entrada de água no concreto como a utilização de manta asfáltica, solução asfáltica, cimento polimérico, argamassa impermeável, cristalização, poliuretano bicomponente, membrana de látex, aditivos impermeabilizantes para o concreto entre outros.

### 2.5.6 Segregação do Concreto

Neville (2016) define a segregação como uma separação dos elementos que compõe a mistura do concreto (cimento, areia, brita e água), de maneira que a distribuição deles deixa de ser uniforme. Na figura 10, é possível visualizar como os elementos acabam se desagregando.

**Figura 10 – Segregação do concreto**



Fonte: Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/manifestacao-patologica-segregacao-do-concreto-bicheira-no-concreto/>. Acesso em: 3 maio 2022.

Segundo Arivabene (2015), se ocorrer um erro de lançamento ou de adensamento, os agregados se separam da argamassa, formando um concreto cheio de vazios, permeável, que permite a passagem de água entre os poros com facilidade. Entretanto, para Neville e Brooks (2013), com métodos adequados de manuseio, transporte e lançamento, a probabilidade de ocorrer segregação pode ser bastante diminuída. Nesse ponto, visando minimizar a segregação, Mehta e Monteiro (2008) acrescentam que é recomendável lançar o concreto o mais próximo possível da área desejada de maneira que o concreto não percorra distâncias muito longas. Para Neville (2016, p. 215), existem duas formas de segregação:

Na primeira, as partículas maiores tendem a se separar em virtude de suas tendências de se deslocar em superfícies inclinadas e de se assentar mais do que as partículas finas. A segunda forma de segregação ocorre principalmente em misturas com excesso de água e é manifestada pela separação da pasta (cimento e água) da mistura. Com algumas granulometrias, quando uma mistura pobre é utilizada, o primeiro tipo de segregação pode ocorrer se a mistura for muito seca – adicionar água pode melhorar a coesão da mistura, mas, quando a mistura se tornar muito úmida, pode ocorrer a segunda forma de segregação.



Dentro deste contexto, Neville e Brooks (2013) afirmam que, para fazer o adensamento do concreto nas fôrmas, o vibrador torna-se uma ferramenta de extrema utilidade, porém, deve ser usado com cautela e cuidado, pois através dele é liberada grande carga de energia, podendo resultar em um risco maior de segregação; essa energia pode ocasionar a destruição dos agregados.

Diante disso, Mehta e Monteiro (2008) complementam que uma combinação de consistência inadequada, quantidade excessiva de agregado graúdo, contendo densidades muito altas ou muito baixas e quantidade reduzida de agregado mais finos, além de métodos de lançamento e adensamento mal executados estão entre os principais fatores para a ocorrência da segregação.

### **2.5.7 Bolor ou Mofo**

Segundo Bertotti (2017) o mofo ou bolor acontece devido à ação de microrganismos do reino dos fungos. Esses fungos, acabam atuando sobre os revestimentos causando a sua decomposição, com o objetivo de secretar enzimas, que quebram as moléculas orgânicas necessárias para o seu desenvolvimento. Além disso complementa que a temperatura contribui para o desenvolvimento dos fungos, sendo que existem fungos que se desenvolvem em temperaturas entre 25° a 30°, mas também há aqueles que tem a capacidade de resistir a temperaturas baixas.

Como a atuação dos fungos é determinante para o surgimento da manifestação patológica, é possível prevenir a sua disseminação fazendo uso de produtos fungicidas apropriados na argamassa que venham a impedir o desenvolvimento desses microrganismos. Na figura 11 é possível visualizar as manchas escuras ocasionadas pelo mofo.

**Figura 11 - Manchas de mofo no teto**



Fonte: ROSA, 2020, p. 19.

## 2.5.8 Eflorescência

As eflorescências são manifestações patológicas que tem a umidade como principal fator desencadeador. Pelo tema ser o foco da pesquisa, esta patologia será abordada de forma mais detalhada e ampla procurando compreender os mecanismos da sua formação com ênfase na manifestação do problema em relação ao graute (concreto) e ao bloco cerâmico.

### 2.5.8.1 Definição de eflorescência

Conforme Ferreira (2009), recebe o nome de eflorescência a camada branca, formada sobre a superfície de determinados materiais, podendo se manifestar tanto em cerâmica como no concreto. A sua formação tem relação com a porosidade, concentração de sais e absorção de água nos elementos citados. Salles Neto (2010), conceitua a eflorescência como um pó solto, que tem forma cristalina e cor branca. Dentro desse contexto, Marques (2021, p. 19) complementa:

As eflorescências aparecem quando a água atravessa uma parede que contenha sais solúveis. Estes sais podem estar nos tijolos, no cimento, na areia, no concreto, na argamassa etc., sendo trazidos para a superfície, onde a água evapora e os sais se depositam sólidos ou em forma de pó.

Figueiredo Júnior (2017, apud Uemoto, 1988), por sua vez, classifica as eflorescências em três tipos:

Tipo I – O mais comum da referida manifestação patológica e apresentado na forma de um sal branco com ínfima granulometria, ou seja, é um pó extremamente fino e com grande solubilidade em água. Na sua composição são encontrados sulfatos de sódio e potássio que estão ligados a determinados materiais de construção, como tijolos, cimentos, água, produtos químicos e também os solos contribuem na formação de tais elementos.

Tipo II – Se apresenta na forma de material branco escorrido, normalmente se formando em superfícies de concretos e alvenarias. Possui boa aderência e não se dissolve facilmente na água, sendo gerador de efervescência ao reagir com ácido clorídrico, elemento este utilizado para a sua própria limpeza. Esse tipo de eflorescência resulta da reação do hidróxido de cálcio com o gás carbônico, formando o carbonato de cálcio, elemento este de maior presença no cimento e se caracteriza por sua pouca solubilidade na água.

Tipo III – Esse terceiro tipo é o menos comum, no qual o depósito de sal forma entre as juntas de alvenaria que se encontram fissuradas. Para o autor, diferente dos tipos anteriores, a formação da eflorescência está relacionada com o alto teor de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) que alguns cimentos apresentam e, quando hidratados, provavelmente se transformarão em carbonato de sódio e potássio, elementos de grande solubilidade. Complementa ainda que o cimento presente na argamassa composta de hidróxidos alcalinos ao entrarem em contato com os tijolos cerâmicos resultarão em sulfatos de sódio e potássio.

#### **2.5.8.2 Mecanismo de formação**

Para Gonçalves (2015), a eflorescência decorre da formação de depósitos de sais na camada superficial do concreto, o que é resultante tanto das intempéries, como oriundas das águas de infiltrações nas estruturas. Bauer (2008), por sua vez, complementa que esses depósitos de sais apresentam na sua composição principalmente compostos de metais alcalinos (sódio e potássio) e de alcalinos-terrosos (cálcio e magnésio).

Esses sais que se depositam na camada externa do elemento têm origem da migração dos sais solúveis presentes nos materiais e em alguns componentes da alvenaria, nada mais são do que elementos com grande capacidade de dissolução em água, promovendo uma mistura homogênea entre eles.

Taguchi (2010) esclarece que os sais podem interferir na estética superficial do elemento no qual irão se depositar, sendo que em alguns casos eles podem ser bastante agressivos, ocasionando a degradação do material, a exemplo do que acontece com os compostos expansivos, divididos estes em reações álcali-agregado e ataque por sulfatos.

De acordo com a NBR 6118: 2014, o primeiro se caracteriza pela expansão do concreto pelas reações dos álcalis e agregados reativos nele contidos. Já o segundo decorre da utilização de águas ou solos contaminados com sulfatos na hidratação da pasta de cimento, causando reações expansivas muito prejudiciais, o que pode ser evitado com a opção por cimento resistente a sulfatos.

Retomando à formação da patologia, contribui Ferreira (2009) ao afirmar que a eflorescência é caracterizada por uma fina camada esbranquiçada que cobre parcial ou totalmente a superfície de determinados materiais expostos às condições que propiciem a sua formação, sendo de fácil identificação até mesmo visual.

Salienta o autor que esta camada esbranquiçada formada pelos sais solúveis que emergiram à superfície, resulta de processos envolvendo a fabricação e uso dos materiais. Além

disso, acrescenta também que se houver o desenvolvimento de eflorescências no interior desses materiais, não perceptível visualmente, o fenômeno será denominado como criptoflorescência.

Para esclarecer, Soares Junior, 2018 apud Reis 2019, a criptoflorescência pode ocasionar danos mais severos em relação à eflorescência, isso porque os resíduos internos da alvenaria podem se expandir e aumentar o seu volume, possibilitando atingir o reboco e os demais revestimentos. Para Gonçalves e Rodrigues (2010), as subflorescências (criptoflorescências) provocam reações internas e podem até mesmo desencadear a desagregação/separação/dissolução do material.

Dentro deste contexto, Basegio *et al.* (2000, p. 3) complementam:

Os sais que normalmente estão presentes em criptoflorescência são os sulfatos de cálcio, magnésio e sódio. Estes sais exercem pressões capazes de produzir fraturas nas peças cerâmicas. Estas fraturas ocorrem segundo planos aproximadamente paralelos à superfície das peças, podendo causar o desprendimento de placas, deixando expostos os depósitos salinos.

De acordo com Gonçalves e Rodrigues (2010), os sais solúveis, por serem líquidos, conseguem percorrer e se interligar aos poros internos do material. A evaporação normalmente é responsável pela cristalização desses sais, entretanto, as variações de temperatura também podem contribuir para a alteração do seu estado físico. Em complemento, Ferreira (2009) explica que a eflorescência acontece pelo excesso de sais no elemento, e gera maior preocupação quando o seu processo de cristalização é submetido a esforços inesperados ou quando a manifestação patológica se concentra em algum lugar específico do tijolo.

Quanto à origem dos sais solúveis, Thomaz, 1990 apud Antunes, 2011, p. 99 afirma:

Os sais podem originar-se dos componentes de alvenarias, da reação entre produtos existentes nos diferentes componentes, da água de amassamento da argamassa, de ligantes hidráulicos (águas contaminadas, com excessivo teor de sais solubilizados) ou através da contaminação do solo (solo adubado ou contaminado).

Silva (2018) afirma que as eflorescências são manifestações patológicas comuns nas alvenarias de tijolos cerâmicos aparentes e que acontece muito em fachadas. Nessa situação, pela exposição da estrutura ao meio externo fica sujeita às intempéries, mais especificamente das chuvas, cuja ação normalmente ocasiona o gradativo desaparecimento da patologia. Da mesma forma a sua limpeza pode ser feita apenas com água ou mediante a aplicação de ácido clorídrico.

Já nas argamassas mistas com altas concentrações de cal não hidratada, a remoção das eflorescências é mais complicada, se fazendo necessário o uso de ácidos. No Quadro 1, adaptado de Junginger (2003), são apresentados os sais que têm participação na formação das eflorescências, de onde são provenientes e o seu grau de dissolução, conhecimento este de grande importância para a definição das ações para a eliminação da patologia.

**Quadro 1 – Principais sais envolvidos nas eflorescências**

<b>Composição Química</b>	<b>Fonte provável</b>	<b>Solubilidade</b>
- Sulfato de Potássio ( $K_2SO_4$ ) - Sulfato de Sódio (sal de Glauber) ( $Na_2SO_4$ ) - Sulfato de Sódio hidratado $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	- reação entre elementos da cerâmica e do cimento - agregados; - água de amassamento	Muito solúveis
- Carbonato de Potássio ( $K_2CO_3$ ) - Carbonato de Sódio ( $Na_2CO_3$ ) - Bicarbonato de Sódio ( $NaHCO_3$ )	- Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos com elevado teor de álcalis	Muito solúveis
- Cloreto de Potássio (KCl)	- limpeza com ácido muriático	Muito solúveis
- Cloreto de Sódio (NaCl)	- contaminação com água do mar	Muito solúveis
- Nitrato de Potássio ( $KNO_3$ ) - Nitrato de Sódio ( $NaNO_3$ ) - Nitrato de Amônia ( $NH_4NO_3$ )	- a presença de nitratos geralmente indica contaminação com elementos de solo adubado, rico em nitrogênio	Muito solúveis
- Carbonato de Cálcio ( $CaCO_3$ )	- carbonatação de cal lixiviada da argamassa ou concreto e de argamassa de cal não carbonatada. Formação semelhante às estalactites	Pouco solúveis
- Carbonato de Magnésio ( $MgCO_3$ )	- carbonatação de cal lixiviada de argamassas de cal não carbonatada	Pouco solúveis
- Hidróxido de Cálcio [ $Ca(OH)_2$ ]	- cal liberada nas reações de hidratação do cimento	Solúvel
- Sulfato de Cálcio desidratado ( $CaSO_4$ )	- componentes cerâmicos; - água de amassamento	Parcialmente Solúvel
- Sulfato de Cálcio dihidratado ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ )	- hidratação do sulfato de cálcio de componentes cerâmicos (reações expansivas - água de amassamento	Parcialmente Solúvel
- Sulfato de Magnésio (sal de Epsom) ( $MgSO_4$ )	- tijolo, bloco - água de amassamento	Solúvel
- Cloreto de Cálcio ( $CaCl_2$ )	- limpeza com ácido muriático - água de amassamento	Muito Solúvel
- Cloreto de Magnésio ( $MgCl_2$ )	- água de amassamento	Muito Solúvel

- Nitrato de Amônia (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	- solo adubado ou contaminado	Muito Solúvel
- Cloreto de Alumínio (AlCl <sub>3</sub> ) - Cloreto de Ferro (FeCl <sub>3</sub> )	- limpeza com ácido muriático	Solúvel
- Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ou Fe(OH) <sub>3</sub>	- contato com materiais ferrosos	Solúvel
- Manganês (sulfatos e cloretos)	- dissolução de compostos de manganês por ácidos fracos	Insolúveis
- Vanádio (VOSO <sub>4</sub> ou VOCl <sub>2</sub> )	- matéria-prima dos produtos da argila - limpeza com ácido	Insolúveis

Fonte: Adaptado de JUNGINGER, 2003, p. 124

De acordo com Leite (2020), a formação da eflorescência está diretamente relacionada ao carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), que é um dos principais elementos que constituem o cimento. Este, por sua vez, quando hidratado forma o hidróxido de cálcio [Ca(OH)<sub>2</sub>], tornando secundária a reação com o primeiro elemento mencionado.

De bem (2019), por sua vez, contribui ao esclarecer que o referido hidróxido presente no concreto se dissolve na água, evapora e atinge a superfície onde entra em contato com o gás carbônico formando o carbonato de cálcio por meio de reações químicas. Este elemento é pouco solúvel e resistente à ação das intempéries, o que dificulta ou mesmo impossibilita a sua remoção.

Já Aberle *et al.* (2007) é mais enfático ao acrescentar que na sequência do processo ocorre a carbonatação, através da qual o ácido carbônico e o hidróxido de cálcio se neutralizam formando o carbonato de cálcio, que no seu entendimento é um sal insolúvel e de remoção bastante complexa e quando esse sal se dissolve na água ocorre a formação de outros sais.

Através do quadro acima apresentado é possível perceber que o hidróxido de cálcio Ca(OH)<sub>2</sub> é um composto solúvel e o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) é pouco solúvel, o que justifica e define as ações a serem tomadas para o controle ou eliminação da patologia.

Outro fator que tem participação direta na formação das eflorescências é a permeabilidade do concreto, propriedade esta determinante para a disseminação e percolação dos sulfatos pelo seu interior. Para Neville e Brooks (2013), se o concreto for muito permeável o Ca(OH)<sub>2</sub> será perdido por lixiviação e, no momento em que evaporar, formará depósitos de carbonato de cálcio em reação com o dióxido de carbono.

Segundo Silva (2019), a eflorescência tem na água o seu principal meio de formação, na medida em que este elemento consegue penetrar em pequenas aberturas, possibilitando assim a segregação da camada de revestimento pela dissolução de elementos presentes em materiais cerâmicos, argamassas e no concreto. Quando a penetração da água no elemento for maior que

a capacidade de absorção, haverá a formação de grandes quantidades de sais na face inferior dos revestimentos, o que resultará em manchas brancas.

Diante disso, Bauer (2008) afirma que, somente é possível ocorrer eflorescências quando identificadas três condições simultâneas, quais sejam: a existência de sais solúveis nos materiais, a presença de água e a pressão hidrostática que faz com que a solução chegue até a superfície. Eliminando uma dessas três condições, a ocorrência de tal manifestação patológica é praticamente eliminada.

Taguchi (2010), por sua vez, acrescenta que além desses fatores internos, há fatores externos que influenciam no surgimento do problema, dentre os quais podemos citar: a quantidade de água presente; o tempo do seu contato com o material cerâmico ou concreto; o aumento da temperatura e o índice de porosidade dos componentes.

O autor esclarece que a água que contribui para o surgimento das eflorescências pode ter diversas origens, dentre as quais cita: umidade do solo, chuvas, infiltrações por aberturas e fissuras na alvenaria, vazamentos nas tubulações de água e esgoto, depósito de água de limpeza que não escoa adequadamente. Acrescenta ainda que a água que percorre o interior dos materiais se cristaliza na superfície por meio da capilaridade, percolações por gravidade, pressão de elementos hidráulicos, dentre outros.

Em complemento Menezes (2006) defende que, além dos sais e da água, é necessário que ocorram condições ambientais favoráveis que permitam a percolação da água pelos poros do elemento em que se integra e a sua posterior evaporação.

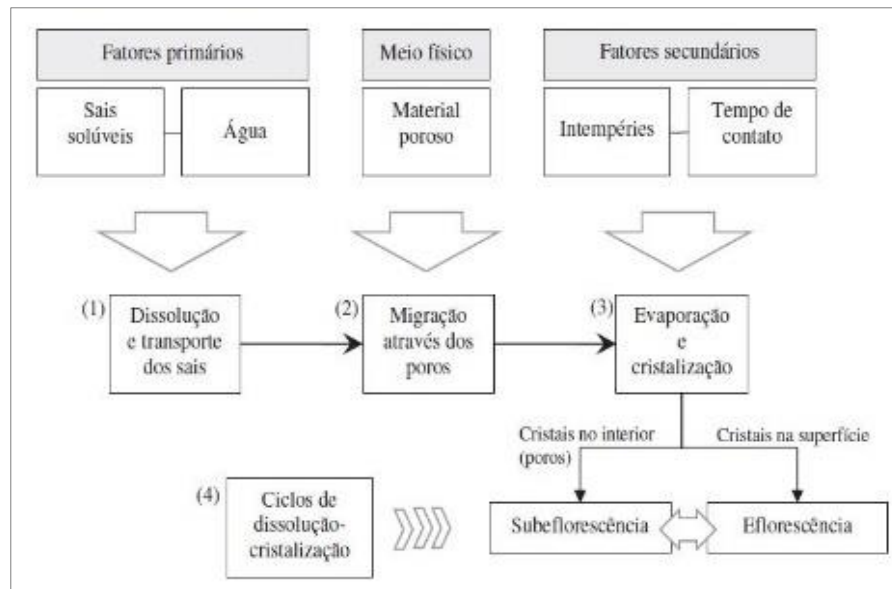
De acordo com De Oliveira Júnior (2018), normalmente a água utilizada na elaboração tanto do concreto quanto da argamassa de assentamento é potável e, por via de regra, entendida como livre de contaminações, diminuindo a probabilidade de ela ser vetor de patologias. Entretanto, com a justificativa de reduzir custos, em algumas construções são utilizadas águas de fontes mais próximas, com qualidades questionáveis, que podem conter elevado teor de sais prejudiciais ao concreto. Além disso, as areias, argilas, pó de pedra, massame e outros componentes frequentemente utilizados na construção civil, são vulneráveis aos sais e podem resultar em eflorescências quando expostos à umidade.

A eflorescência para Neville e Brooks (2013), de forma isolada, não é considerada um fenômeno prejudicial, porém se ocorrer elevada lixiviação do  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  é provável o aumento de poros no concreto que ficará frágil e mais vulnerável à entrada de agentes agressivos no seu interior, se constituindo em um agente facilitador.

O diagrama exposto na figura 12, elaborado por Bersch (2012), permite visualizar os fatores que originam as eflorescências na seguinte sequência: os sais se dissolvem na água, percolam

internamente os poros do elemento, sofrem interferência das intempéries e do tempo de exposição, evaporam e se cristalizam formando assim, as subflorescências e as eflorescências.

**Figura 12 – Mecanismo de formação das eflorescências**



Fonte: BERSCH, 2012, p. 26

Segundo Neves (2021), o fenômeno da eflorescência está diretamente ligado à cal livre que é o elemento resultante da reação química entre o hidróxido de cálcio  $[Ca(OH)_2]$  e o hidróxido de magnésio  $Mg(OH)_2$  com o gás carbônico do ar, o qual integra todos os tipos de cimentos, que por sua vez, contém na sua composição os hidróxidos mencionados. Esse processo é denominado de carbonatação, o que foi abordado de forma mais ampla em item específico desse estudo.

O autor complementa que no momento em que a cal livre entrar em contato com a água, esta causará a sua dissolução, permitindo o deslocamento dos seus sais por osmose até a superfície do elemento, onde vai ocorrer a sua evaporação, formando assim a eflorescência.

### 2.5.8.3 Eflorescência no Bloco Cerâmico

Os blocos cerâmicos, na lição de Barbosa *et al.* (2011) são materiais que utilizam como matéria prima principal as argilas, o que justifica o seu tom avermelhado. No seu processo de fabricação são expostos a altas temperaturas que promovem a sua queima através da fonte de calor utilizada.

Considerando que a matéria-prima principal do produto cerâmico é extraída do solo, que muitas vezes contém elevados teores de sais na sua composição, caso repassados ao produto



final são prejudiciais e podem contribuir para desencadeamento de eflorescências. Monteiro *et al.* (2009) vão mais além ao afirmar que os sais solúveis responsáveis pela formação das eflorescências podem estar presentes tanto na matéria-prima, quanto na secagem ou mesmo após a queima do produto cerâmico, sendo os sulfatos de cálcio e de magnésio os elementos mais citados em vários estudos pelos respectivos autores.

Para Ferreira e Bergmann (2011), as eflorescências que aparecem de forma recorrente nos produtos cerâmicos são dificilmente eliminadas por completo devido à porosidade, a natureza e os sais neles contidos que tem facilitada a sua migração para a superfície. Esses sais somente conseguem se deslocar no interior da peça transportados pela água que tem papel fundamental para o processo.

Para De Brito *et al.* (2018), a abertura elevada de poros nos produtos cerâmicos decorre de uma queima insuficiente e que quando passam por um processo de fabricação com a queima adequada apresentam poros em menor quantidade. Já Ferreira (2009) especifica que na comparação entre os produtos utilizados na construção civil, os de cerâmica vermelha são mais porosos e dessa forma tem uma alta absorção de água.

O desenvolvimento das eflorescências em peças cerâmicas, para Menezes *et al.* (2006) está diretamente associado à qualidade dos produtos que as compõe sendo motivo de preocupações para os fabricantes e de atenção para os construtores com a origem do produto a ser utilizado.

Segundo Basegio, *et al.* (2000), a tendência dos elementos de origem cerâmica é de apresentar diversos tipos de sais na sua composição, ainda que em quantidades inofensivas. Entretanto quando se apresentam em abundância podem danificar o produto, especialmente quando há alteração do seu volume pela cristalização dos referidos sais ou quando estes se concentram em uma determinada região da peça. Complementa que os materiais provenientes da argila como os tijolos e telhas são elementos porosos pela sua natureza e constituição, dessa forma acabam absorvendo a água por meio da capilaridade formando sais, condição esta que favorecerá o aparecimento de eflorescências.

Importante aqui destacar o entendimento de Menezes *et al.* (2006) de que o surgimento da patologia em estudo está ligado a uma enorme complexidade de fatores, razão pela qual não é possível apontar com certeza um percentual de sais solúveis como limite único para todos os elementos cerâmicos e pela diversidade de circunstâncias envolvidas.

Em complemento Huinik *et al.* (2004) apud Ferreira e Bergmann, 2011, afirmam que mesmo sendo objeto de estudo e investigação por vários anos, os danos causados pelos sais solúveis ainda geram questionamentos em relação ao desenvolvimento na sua totalidade em

razão dos fatores que controlam a formação de cristais em meio poroso. Acrescentam, porém, que o fluxo de água e a presença de íons na fase de evaporação e cristalização dos sais não permite afirmar que seja fator preponderante para a formação das eflorescências.

Por outro lado, Neves (2021) é enfático ao defender que os blocos cerâmicos não provocam eflorescências, atribuindo o problema à argamassa de assentamento neles utilizada, na qual há a formação de depósitos de sais devido a reações químicas entre elementos que a compõe, especialmente a cal livre presente nos cimentos, que se dissolverá na água. Dessa forma esses sais serão transportados para dentro do bloco cerâmico, confirmando que a eflorescência é proveniente da argamassa de assentamento, sem relação direta com o bloco cerâmico.

A disseminação da referida patologia nos blocos cerâmicos é de fácil identificação visual, conforme mostra a figura, na qual as eflorescências se apresentam na forma de manchas esbranquiçadas.

**Figura 13 – Eflorescência no bloco cerâmico**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### **2.5.8.4 Eflorescência no Graute**

O graute do tipo estrutural é um concreto mais fino do que o concreto tradicional e possui resistência compatível com a alvenaria resistindo aos esforços solicitados e com aplicações diversas do concreto comum. De acordo com Logullo (2006, apud Cunha, 2001), consiste em uma mistura de cimento, água, agregados miúdos e graúdos de pequenas dimensões (areia e brita). Esse tipo de concreto se caracteriza por alta fluidez e capacidade de expansão decorrente

da sua composição mais líquida, inclusive dispensando a utilização de equipamentos como vibradores para a sua acomodação.

Segundo Camacho (2006), o material citado apresenta grande capacidade resistiva aos esforços de compressão impostos pelo carregamento vertical da alvenaria, além de que possui alta trabalhabilidade devido à sua fluidez. Diante disso, tem a função de proporcionar grande resistência para a estrutura, além de obter uma melhor sintonia entre graute/armadura fornecendo maior aderência um ao outro. O graute é indicado para o preenchimento de espaços vazios, a exemplo dos furos dos blocos estruturais, conforme demonstra a figura 14.

**Figura 14 – Graute estrutural**



Fonte: Disponível em: <https://construindodecor.com.br/graute/>. Acesso em: 6 de junho de 2022.

Voltando ao tema do presente trabalho, o cimento presente no graute, por conter grande quantidade de hidróxido de cálcio possibilita um maior aparecimento de eflorescências nos elementos em que tal concreto for utilizado.

Para Reis (2019), a água de amassamento e os agregados utilizados no graute podem contribuir significativamente na formação das eflorescências, pois os sais excessivos presentes na sua composição, quando expostos a água, serão transportados para a superfície e pela evaporação formarão depósitos salinos.

Para aproximar os ensinamentos teóricos referidos, a figura 15, retirada *in loco* pelo autor do presente trabalho, possibilita identificar no graute a disseminação em grande escala da eflorescência. O primeiro quadro apresenta a janela de inspeção da alvenaria seguido de um bloco calha que tem a função de uma verga, ambos tendo o graute como principal elemento.

**Figura 15 – Eflorescência no graute**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

De acordo com Neville (2016), os sais, em sua forma sólida, não danificam o concreto, entretanto quando em forma solúvel, há a possibilidade da ocorrência de reações com a pasta de cimento hidratada. Os sulfatos mais comuns que podem danificar o concreto, são o sulfato de cálcio, sulfato de magnésio, sulfato de sódio e sulfato de potássio.

“O ataque por sulfatos, causa a deterioração do concreto, deixando-o com uma cor branca, iniciando pelos cantos, que acaba fissurando e posteriormente, ocorre o lascamento do concreto” (NEVILLE; BROOKS, 2013, p. 261). Para os autores, a razão para que concreto fique com esta aparência, é porque o ataque por sulfato nada mais é do que a formação de sulfato de cálcio (gesso) e sulfoaluminato de cálcio (etringita). A etringita, por sua vez, é um mineral representado pela fórmula  $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ , composta por sulfato de cálcio e alumínio hidratado e é um fenômeno ocasionado no processo de hidratação do cimento.

Em complemento, ainda sobre o fenômeno citado anteriormente, Mehta e Monteiro (2008, p. 27) afirmam que:

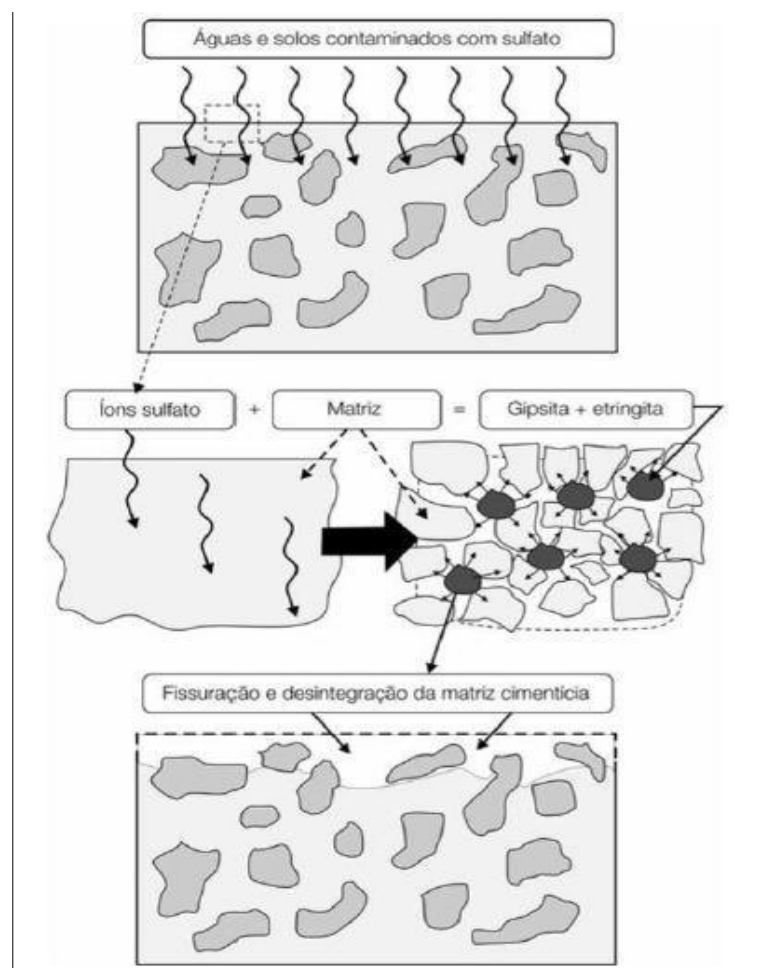
Quando o cimento é disperso em água, o sulfato de cálcio e os compostos de cálcio formados a alta temperatura começam a entrar em solução, e a fase líquida se torna rapidamente saturada com várias espécies de íons. Como resultado da interação entre cálcio, sulfato, aluminato e íons hidroxila, e dentro de poucos minutos de hidratação do cimento, começam a aparecer cristais aciculares de trissulfoaluminato de cálcio hidratado, conhecido como etringita.

Para Bertolini (2010) o ataque de sulfatos não depende apenas do teor contido na água ou no solo, mas também das características e da qualidade do concreto, além de que se tornam mais agressivos quando diluídos na água. O autor complementa que o fenômeno acontece em três estágios: no ingresso dos íons de sulfato na matriz do cimento, na reação com o hidróxido

de cálcio, na formação e a reação do gesso com os aluminatos tendo como resultado elementos expansivos como a etringita. Esta, o autor complementa que é a reação que é mais preocupante, pois é responsável pelos maiores efeitos expansivos no concreto.

Lima e Silva *et al.* (2018) acrescentam que os ataques por sulfatos têm origem das reações ocasionadas pelos produtos no processo de hidratação do aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) não hidratado, dessa forma, produz a etringita, e, reagindo com o hidróxido de cálcio, irá formar a gipsita. Na figura 16, está representado o processo provocado pelo ataque por sulfatos no concreto.

**Figura 16 – Ataque de sulfatos no concreto**



Fonte: RIBEIRO, 2014 apud SANTOS *et al.*, 2021, p. 23

#### 2.5.8.5 Causas das eflorescências

Referente às causas da manifestação patológica alvo do estudo, De Oliveira Júnior (2018), salienta que os sais podem surgir de duas formas: a primeira é por meio da umidade, devido às

infiltrações nas paredes de revestimento, de modo que esses sais formados, chegam até a superfície do elemento por meio do fluxo de água.

A segunda forma está relacionada com os compostos constituintes dos materiais de construção que podem conter elevado teor de sais na sua composição. Complementa também que há outros pontos fundamentais no processo de formação dos depósitos salinos, como a dissolução dos sais e a textura capilar do material envolvido. A capilaridade tem papel vital para o desenvolvimento da manifestação patológica e pode tanto facilitar, como dificultar a migração da água pelo interior do elemento. Como mencionado, a presença de umidade é um dos fatores principais que desencadeiam a formação das eflorescências, e por sua vez, é de extrema importância destacar como ocorre o ingresso da água na estrutura, o que é possível visualizar através da figura 17.

**Figura 17 – Formas de ingresso de água na edificação**



Fonte: LAGE, 2012, p .16

As origens do ingresso da umidade nas estruturas são diversas, dessa forma, no quadro 2 apresentado por Souza (2008) adaptado de Klein (1999) exemplifica como a umidade ingressa na edificação.



**Quadro 2 – Origem da umidade nas edificações**

<b>Origem</b>	<b>Presente em:</b>
Umidade proveniente da execução da construção	Confecção do concreto e argamassa; execução de pinturas
Umidade oriunda das chuvas	Telhados, paredes e lajes de terraços
Umidade trazida por capilaridade	Terra, por meio do lençol freático
Umidade resultante de vazamentos de redes de água e esgoto	Paredes, telhados, pisos e terraços
Umidade de condensação	Paredes, forros e pisos, além de peças com pouca ventilação como banheiros, cozinhas e garagens

Fonte: SOUZA, 2008, p. 10, adaptado de KLEIN, 1999.

Segundo Reis (2019), a água e os agregados utilizados para a fabricação dos materiais, podem ter participação indireta na formação das eflorescências, pois nesses elementos podem conter um exagero de sais na sua composição e após a evaporação da água, podem acabar depositados na superfície, o que caracteriza o fenômeno.

De acordo com Ribeiro *et al.* (2018), a eflorescência se forma devido aos sais solúveis presentes em diversos materiais utilizados na construção civil. Geralmente quanto maior a quantidade de sais em um elemento, maior será a probabilidade de ocorrer a manifestação patológica. Monteiro (2009) acrescenta que diversos estudos afirmam que os sulfatos de cálcio e magnésio são impurezas que estão presentes nas argilas e originam sais com uma frequência superior aos demais. Oliveira Junior (2018) complementa que não somente os materiais utilizados na construção civil são responsáveis pelo surgimento das eflorescências, mas também a utilização de água com qualidade duvidosa pode conter elevadas concentrações de sais e desencadear na manifestação patológica.

Conforme a Portland Cement Association (2004) a ocorrência das eflorescências está mais suscetível a períodos frios, com maior probabilidade do seu aparecimento no inverno, por ocorrer uma evaporação mais lenta, permitindo que os sais migrem para a superfície. Com o passar do tempo, não ocorrendo a movimentação da umidade na alvenaria, a tendência é que a manifestação patológica diminua de gravidade.

### 2.5.8.6 Problemas ocasionados pelas eflorescências

Para Uemoto (1988 apud Menezes *et al.* 2006), a formação de cristais nas peças cerâmicas, de forma superficial, não gera esforços mecânicos importantes. Entretanto, quando esse processo ocorre no ambiente interno, a produção de esforços torna-se consideráveis. Dessa forma, como as eflorescências causam degradações somente nas áreas próximas a superfície, ocorre apenas danos estéticos, sendo mais preocupantes quando ocorrer um contraste de cores entre os sais e a alvenaria, sendo bem mais visíveis fisicamente.

Pereira (2012) afirma que as criptoflorescências, que ocorrem internamente, o diagnóstico é mais complexo do que as eflorescências. Ela provoca danos aos materiais envolvidos, de modo que os sais presentes no interior do elemento, ao se cristalizarem, se expandem e gera tensões internas que acabam deteriorando os revestimentos. Diante de tal fato, Salles Neto (2010, p. 149) complementa:

Os danos provocados no processo de cristalização podem ser extensos, não limitando-se às camadas superficiais e podendo, inclusive, levar à ruína do material. O grau de degradação potencial depende de fatores como a natureza dos materiais, suas propriedades físicas e mecânicas, seu estado de conservação e da concentração do sal presente.

Neville e Brooks (2013) afirmam que diretamente a eflorescência não prejudica os elementos, entretanto é válido salientar que se ocorrer a lixiviação do hidróxido de cálcio [Ca (OH)<sub>2</sub>], pode ocasionar em uma perda de resistência do concreto e torná-lo mais poroso, estando mais suscetível ao ingresso e percolação de água pelo seu interior.

### 2.5.8.7 Soluções para minimizar o aparecimento das eflorescências

De acordo com Neville e Brooks (2013), para prevenir as eflorescências é necessário reduzir o teor de Aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A) no cimento e reduzir o Hidróxido de cálcio [Ca (OH)<sub>2</sub>] na pasta de cimento hidratado usando cimentos contendo escória de alto-forno ou pozolanas, como é o caso dos cimentos de classe IV.

Desse modo, Bauer (2008) complementa que a utilização de pozolanas no concreto, melhora muito a qualidade do material, elevando a sua resistência aos agentes agressivos, minimizando o surgimento das eflorescências pela percolação de água. O autor complementa que as eflorescências somente se desenvolvem mediante a existência de sais, que podem estar



presentes nos materiais, presença e fluxo de água, de maneira que, se for eliminado alguma dessas condições, a eflorescência não se desenvolverá.

Conforme a Portland Cement Association (2004) devido às características dos materiais de construção utilizados nas obras, é praticamente impossível reduzir a zero a quantidade de sais solúveis, pois eles fazem parte da composição desses materiais. Da mesma forma que é muito difícil construir paredes, que não tenham contato com a umidade durante a fase de construção. Entretanto, medidas preventivas podem ser tomadas para prevenir o surgimento das eflorescências. Realizar um bom acabamento, fazendo o correto preenchimento das juntas de assentamento entre os blocos e garantir uma boa hidratação dos materiais compostos de cimento, são ações capazes de limitar o potencial da manifestação patológica.

### **3 METODOLOGIA**

O desenvolvimento do trabalho se deu pela necessidade de determinar as causas do surgimento de eflorescências em blocos cerâmicos e no graute em uma edificação localizada na cidade de Lajeado, Rio Grande do Sul. Além das origens, pretendeu-se determinar os possíveis danos que a manifestação patológica pode ocasionar em uma edificação de alvenaria estrutural.

Diante disso, foram realizados estudos experimentais in loco, complementando com testes feitos em laboratório.

#### **3.1 Caracterização da pesquisa**

O estudo foi realizado de forma descritiva, de natureza quantitativa, embasando-o por meio de pesquisas bibliográficas, seguindo as normas regulamentadoras que especificam alguns dos ensaios, tendo em vista que outros não possuem normativa e serão realizados de acordo com estudos referente ao tema bem como a realização de experimentos propostos pelo desenvolvedor deste trabalho em conjunto com a orientação do professor.

Os seguintes ensaios previstos para a realização do trabalho foram divididos em duas partes distintas: ensaios previstos em laboratório e ensaios previstos na obra.

##### **3.1.1 Ensaios em laboratório**

###### **3.1.1.1 Determinação de eflorescência nos blocos cerâmicos**

O procedimento foi baseado no anexo E da NBR 15270-2: 2017 – Determinação de eflorescência, tendo como objetivo a análise dessa possível manifestação nos blocos cerâmicos.

Para a sua realização foram utilizados recipientes impermeáveis livres de sais solúveis, com capacidade para imergir o bloco cerâmico em uma lâmina de água de 25mm. Também foi providenciado ambiente climatizado com temperatura de  $(24\pm 8)$  °C, umidade relativa entre 30% e 70% e estufa ventilada com capacidade de manter a temperatura entre  $105\pm 5$  °C.

Foram utilizados 10 blocos cerâmicos do tipo estrutural com 15MPa de resistência à compressão, dispostos em 5 pares, livres de qualquer resíduo ou sujeira superficial do bloco, evitando ser confundida com a eflorescência.

Após a limpeza dos elementos os blocos foram colocados em estufa para o processo de secagem controlada à temperatura de  $105\pm 5$  °C por 24 horas, período no qual os elementos foram pesados em intervalos de 60 minutos até atingirem 0,25% da sua massa inicial. Após a secagem recomendada, os blocos foram separados por um período de 4 horas em sala climatizada até que a sua temperatura não difira mais do que 5°C do ambiente.

Por fim, apenas 1 bloco de cada par foi inserido nos recipientes individuais, permanecendo cinco blocos dentro e cinco blocos fora. Os primeiros receberam adição de 25mm de água nas fôrmas em que foram depositados.

Os exemplares permaneceram em repouso por sete dias e após os pares foram inseridos na estufa por 24 horas e da mesma forma que procedido na etapa anterior foram movimentados para dentro e fora da estufa em intervalos de 60 minutos até não diferir de 0,25% da sua massa inicial.

Ultrapassado esse período, retirou-se os blocos da estufa e submetidos à inspeção visual. Não encontrada nenhuma alteração, o par foi classificado como “não eflorescente”, entretanto, notada a diferença, classificado como “eflorescente”.

### **3.1.1.2 Ensaio de determinação da eflorescência no graute**

O presente ensaio teve como objetivo a formação de eflorescências, utilizando como material de corpo de prova o graute. Para tanto, foi adaptado a partir da NBR 15270-2: 2017 que trata da eflorescência em blocos cerâmicos.

Este ensaio foi elaborado tendo como referência a norma técnica acima citada, pelo fato de que não foram encontrados normativos e tampouco experimentos semelhantes aos realizados e que se adequassem ao objetivo proposto para o presente estudo.

Na preparação utilizou-se 25 kg de graute com 30MPa de resistência à compressão, com adição de 4,5 litros de água, conforme a recomendação do fabricante. Visando a melhor incorporação e homogeneidade dos elementos citados, a mistura foi realizada em betoneira.

Completada a mistura, moldou-se oito corpos de prova de formato cilíndrico, com dimensões de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, seguindo o proposto pela NBR 5738: 2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Os recipientes metálicos utilizados como molde foram limpos e umidificados com fina camada de desmoldante e preenchidos com graute. Foi realizado adensamento manual em duas camadas desferindo para tanto doze golpes de soquete para cada uma delas, conforme recomendações da NBR 5738: 2015 e exposto na imagem 18.

**Figura 18 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova em argamassa**

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	–	–

Fonte: NBR 5738, 2015, p. 5.

Os corpos de prova foram submetidos ao processo de cura submersos em água, permanecendo assim por 28 dias, e após a retirada ficaram em ambiente seco em regular observação de possível formação de eflorescência relatando qualquer alteração no elemento. Como não ocorreu qualquer alteração, também foi realizado ciclos de molhagem e secagem com objetivo de acelerar o processo.

Igualmente aos anteriores, os procedimentos realizados não obtiveram êxito e, portanto, realizou-se moldagens alternativas de corpos de prova, dentre os quais: colocação do graute diretamente no bloco cerâmico, criação de formatos irregulares simulando ambiente aproximado ao da obra, confecção de corpos de prova de graute com teor de água superior ao recomendado pelo fabricante. Foi realizada nova inspeção visual registrando de qualquer alteração que tenha apresentado.

### 3.1.1.3 Ensaio de resistência à compressão do graute

O procedimento foi baseado no que propõe a NBR 5739:1994 – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, tendo como objetivo analisar os efeitos negativos da eflorescência na resistência do graute aos esforços de compressão.

Para tanto foi utilizada a máquina Emic DL30000N, representada na imagem 19, equipamento do laboratório de estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul, bem como foi reaproveitado os elementos confeccionados no experimento anterior.

**Figura 19 – Máquina de compressão**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para a realização deste ensaio foram usadas quatro amostras de graute em formato cilíndrico, os quais foram nivelados através da retificação tanto da base quanto do topo, evitando assim a má compressão que interferiria diretamente nos resultados de resistência. Além disso foram removidas as impurezas contidas nos elementos e feita a limpeza dos pratos da máquina para receber o encaixe do corpo de prova para posterior rompimento.

Concluídas as etapas preliminares, os elementos foram individualmente colocados na máquina de rompimento, centralizados sob os pratos para evitar qualquer tipo de interferência. Por questões de segurança, o elemento em compressão será isolado por uma grade de proteção evitando o arremesso de resíduos contra os olhos ou outra parte do corpo do operador.

Mediante a ação do pistão pneumático a força e a intensidade do carregamento foram aplicadas com velocidade constante e aumento gradativo da carga, ocasionando ruídos que se intensificaram e culminando com um estrondo sinalizador do rompimento total da amostra, finalizando assim o ensaio.

#### **3.1.1.4 Ensaio de determinação da efluorescência na argamassa**

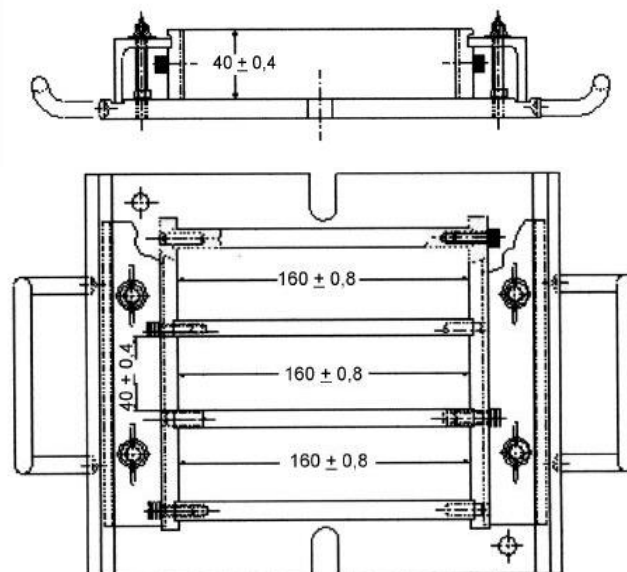
O presente ensaio tem como objetivo a formação acelerada de efluorescência na argamassa para estudo da sua composição. Foi realizado com base técnica na NBR 15270-2: 2017 que

trata da eflorescência em blocos cerâmicos, o que foi objeto do ensaio anterior. Diante disso se fez necessária a adaptação à referida norma, por não terem sido encontradas referências de experimentos anteriores e tampouco normas técnicas específicas que pudessem auxiliar na execução dos procedimentos.

Foram moldados cinco corpos de prova em formato cilíndrico de 200 mm de altura e 100 mm de diâmetro, com adensamento de forma manual com 2 camadas de 12 golpes, seguindo as determinações da NBR 5738:2015, como exposto na imagem do ensaio de eflorescência no graute citado anteriormente.

Também moldados seis corpos de prova em barras retangulares com dimensões de (40x40x160) mm, dos quais cinco foram posteriormente utilizados nos ensaios de tração na flexão e compressão da argamassa. A moldagem dos elementos foi realizada de acordo com a NBR 13279: 2005 em fôrmas como exposto na figura 20.

**Figura 20 – Equipamento para moldagem de barras prismáticas**



Fonte: NBR 13279, 2005, p. 6.

Para a moldagem foram utilizados 25 kg de argamassa e 4,5 litros de água, medidas estas fornecidas na ficha técnica proposta pelo fabricante do produto e que foram misturados em betoneira para melhor homogeneidade dos elementos.

Após respeitado o prazo de 28 dias para a cura da argamassa foi realizada inspeção visual buscando identificar a formação da eflorescência para fins de estudo, o que é o objetivo do presente ensaio. Todavia, como a mesma não se manifestou em primeiro momento, então foram

criadas situações a fim de tornar o ambiente favorável para o seu surgimento, tais como ciclos de molhagem e secagem.

Mesmo assim, como não houve a ocorrência da manifestação patológica foi necessário fazer nova moldagem de corpos de prova, porém dessa vez utilizando relação água/argamassa superior ao recomendado pelo fabricante. Após todas as etapas completas, nova inspeção visual foi realizada.

### **3.1.1.5 Ensaio de resistência à compressão e flexão da argamassa**

O ensaio tem como objetivo obter as resistências à tração na flexão e também de compressão descrito na norma brasileira NBR 13279:2005. Para análise da resistência de aderência, utilizou-se argamassa com resistência característica de 5 MPa. O ensaio consistiu na moldagem de corpos de prova prismáticos de 40x40x160 milímetros, citadas no ensaio de eflorescência na argamassa.

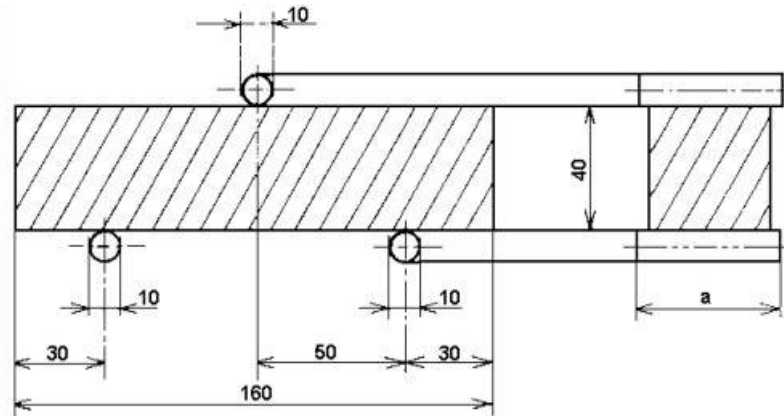
#### **3.1.1.5.1 Ensaio de resistência à tração na flexão**

Os elementos utilizados para o teste de resistência à tração na flexão foram as 5 barras prismáticas citadas.

Conforme recomenda a NBR 13279: 2005, o equipamento utilizado para a realização do procedimento possui três suportes de aço em forma de roletes, sendo dois deles fixados na base distantes 100mm um do outro e o terceiro centralizado na parte superior. Esses roletes, possuem comprimento entre 45mm e 50mm e diâmetro de  $(10\pm 0,5)$  mm.

Os planos verticais são paralelos e perpendiculares à direção da barra prismática, de modo a formar um ângulo de  $90^\circ$ . O rolete de suporte e do carregamento precisam de uma pequena inclinação de modo a obter contato e uniformidade na distribuição da carga, evitando a ocorrência de tensões de torção. O dispositivo de carga para a determinação da resistência à tração na flexão está demonstrado na figura 21.

**Figura 21 – Dispositivo de carga para determinação da resistência à tração na flexão**



Fonte: NBR 13279, 2005, p. 8.

Para a determinação do resultado da resistência à tração das barras prismáticas foi necessária a utilização de fórmula proposta pela NBR 13279: 2005 que segue:

$$Rf = \frac{1,5 \times Ff \times L}{40^3}$$

Onde:

Rf = resistência à tração na flexão, representada em megapascals (MPa).

Ff = carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons (N)

L = distância entre os suportes, em milímetros (mm)

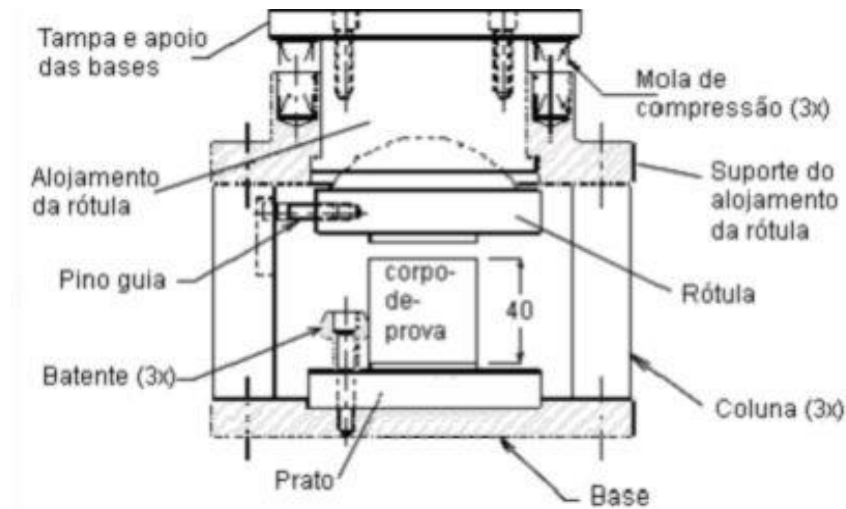
### 3.1.1.5.2 Ensaio de resistência à compressão

Para o ensaio, foram usadas as mesmas cinco barras prismáticas que foram submetidas ao teste de resistência à tração na flexão. Seguindo as normativas da NBR 13279: 2005, o equipamento utilizado na realização do ensaio resistência a compressão, demonstrado na figura 22, possui um prato superior e outro inferior, ambos de aço, de modo que a posição dos mesmos permaneça inalterada durante a aplicação do carregamento. O prato da parte superior precisa estar alinhado livremente no momento do contato com o corpo de prova. As dimensões dos pratos são de (40±0,1) mm de comprimento, (40±0,1) largura e espessura mínima de 10mm.

O dispositivo deve ter a capacidade de aplicar um carregamento de 500N/s e possuir um dispositivo indicando o valor no momento da ruptura e também que permaneça indicado quando a máquina for descarregada. A planicidade tolerada sobre a superfície do corpo de prova deve ser de 0,01m.



**Figura 22 – Dispositivo de carga típico para ensaios de resistência à compressão**



Fonte: NBR 13279, 2005.

Para a determinação do resultado da resistência à compressão das barras prismáticas foi utilizada a fórmula proposta pela NBR 13279: 2005 que segue:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Onde:

$R_c$  = resistência à compressão, representada em megapascals (MPa).

$F_c$  = carga máxima aplicada, em newtons (N)

1600 = área da seção da barra prismática 40mm x 40mm, em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>)

### 3.1.1.6 Ensaio de Difração de raio X

Para agregar e aprofundar o presente estudo também foi realizado um ensaio mais complexo em laboratório especializado de outra instituição universitária, denominado Difração de raios X que permitiu identificar, por meio da interpretação dos diagramas de difração, a composição mineralógica das fases cristalinas da patologia objeto deste trabalho.

Foram analisadas duas amostras, sendo uma de eflorescência presente na cerâmica e outra de eflorescência no graute, as quais retiradas *in loco* por meio da raspagem do material da alvenaria e enviadas para análise.

Amostras passaram por processo de moagem realizados em moinho Retsch RM 200 até obter granulometria inferior a 50 micras (µm). Após a moagem as amostras foram preparadas

com auxílio do kit PANalytical PW1771/10 para amostras em pó solto e o método utilizado foi o *back-loading*.

Preparadas as amostras, as mesmas foram inseridas em equipamento de difração de raios X Empyrean PANalytical com configuração reflexão-transmissão e spinner ajustado em duas revoluções por segundo, faixa goniométrica de 2 a 75° ( $2\theta$ ), com passo de 0,01 por 330s, tubo de Cu ( $\text{CuK}\alpha$ ), e a 40 kV e 40 mA, além disso O difratômetro é equipado com detector de área PIXcel 3D Medipix3 com 255 canais.

Os difratogramas foram interpretados com auxílio do software HighScore Plus, utilizando-se do banco de dados cristalográficos *Open Crystallography Database* (OCD).

### **3.1.2 Ensaios previstos na obra**

#### **3.1.2.1 Ensaio de aderência à tração do revestimento argamassado**

A etapa inicial do ensaio não foi regido por nenhuma norma específica, tendo em vista que não foi possível a aplicação das mesmas por carecer de materiais bibliográficos para consulta, diante disso, foi proposto juntamente com o professor orientador esse método que será descrito e executado.

Como primeira ação selecionou-se uma parede, in loco, de blocos cerâmicos contendo considerável teor de eflorescência que possibilitando o desenvolvimento do estudo sobre os impactos da eflorescência sobre o revestimento de reboco.

Posteriormente foi realizada a limpeza da eflorescência por meio dos seguintes procedimentos: raspagem e escovação para remover as impurezas contidas na alvenaria. A limpeza se concentrou em metade da parede, mantendo a outra metade em sua forma primária com a eflorescência para obter-se um comparativo de resistência à tração, por meio do teste de arrancamento.

Após essa etapa, aplicou-se uma camada de chapisco de proporção 1:3 (cimento: areia média), e aguardar período de cura de 72 horas conforme recomendado por normas específicas. Respeitado o prazo de secagem foi aplicado a camada de reboco com composição de 1:2:6 (cimento: cal: areia). Para a cura foi observado o prazo de 28 dias para possibilitar a realização do seu arrancamento.

Finalizadas as etapas anteriores, foram demarcados 12 pontos específicos contendo eflorescência e 12 pontos livres da anomalia, totalizando 24 pontos. Esses pontos são furos

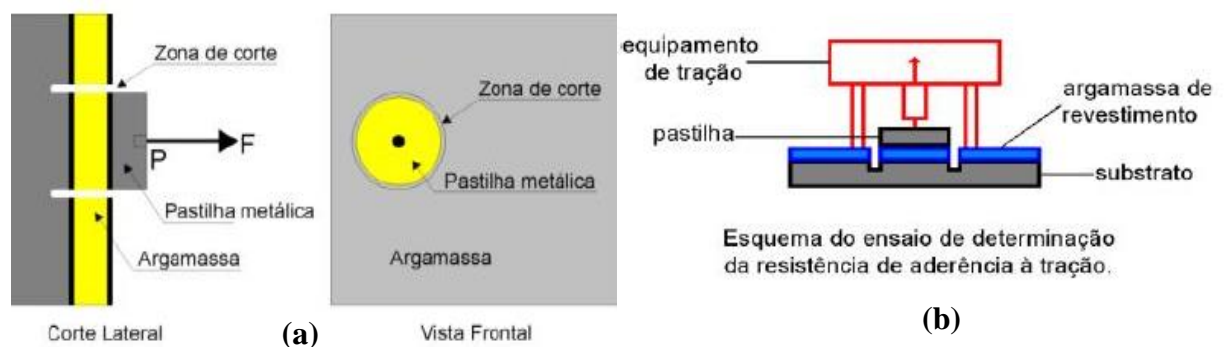
realizados utilizando uma parafusadeira, realizado a seco com broca do tipo serra-copo com seção circular de diâmetro de 50mm e profundidade na argamassa de aproximadamente 2mm no substrato.

Na sequência colou-se pastilhas metálicas sobre a camada de revestimento com cola POXIPOL de alta resistência e secagem rápida, aguardando 10 minutos para a mesma adquirir a resistência adequada. Após a secagem da cola as pastilhas metálicas foram encaixadas individualmente no equipamento que fez o seu arrancamento.

O equipamento de tração que será utilizado é do tipo digital SOLOTEST CA 007 e possui taxa de arrancamento de aproximadamente 50N/s e que está devidamente calibrado.

A partir da imagem 23 é possível visualizar de forma esquemática os detalhes dos procedimentos executados, onde na figura (a), representa o corte lateral e a vista frontal do corte e o acoplamento da pastilha e na figura (b) está representado o como o equipamento é acoplado na pastilha para realizar o arrancamento.

**Figura 23 – Detalhamento do corte do equipamento utilizado**



Fonte: Elaborado por MMC Lab (2022)

## 4 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

Nessa etapa avaliativa do trabalho, serão apresentados a análise dos dados obtidos nos testes realizados no decorrer do estudo, os quais foram desenvolvidos em canteiro de obras e complementados em laboratórios de pesquisa.

### 4.1 Ensaio de determinação de eflorescência nos blocos cerâmicos

Os dez blocos cerâmicos estruturais utilizados foram limpos de qualquer resíduo superficial para evitar a confusão com a eflorescência, caso esta viesse a se formar.

Após a limpeza os blocos foram expostos à secagem por 24 horas em estufa com temperatura controlada de  $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sendo retirados a cada hora para a pesagem até não diferisse 0,25% da sua massa total. As etapas acima mencionadas podem ser conferidas na sequência de imagens expostas na figura 24.

**Figura 24 – Limpeza, pesagem e blocos na estufa**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Com a obtenção da massa desejada, os blocos foram resfriados por 4 horas em ambiente natural e após foram separados em cinco pares, dos quais uma unidade de cada foram colocadas

em recipiente contendo 25mm de água e as restantes permaneceram em ambiente seco para posterior comparação, o que é representado na imagem 25.

**Figura 25 – Blocos dispostos nos recipientes impermeáveis**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os exemplares ficaram em repouso por sete dias, com reposição da água na medida da sua evaporação para manter a lâmina de 25mm, como proposto na NBR 15270: 2017. Ultrapassado esse período, os blocos foram submetidos novamente ao processo de secagem mencionado anteriormente, com a pesagem dos blocos individualmente em intervalos de 1h até a completa secagem, para finalmente serem inspecionados de forma visual.

Concluído o ensaio constatou-se que as cinco amostras de blocos cerâmicos que permaneceram no recipiente com lâmina d'água de 2,5cm não apresentaram eflorescência, assim como aqueles que permaneceram fora do ambiente úmido. A tabela 1 apresenta a classificação dos blocos, dispostos na primeira coluna os que foram colocados na água, na segunda os que permaneceram fora e na última a classificação dos pares, conforme indica a NBR 15270-2: 2017.



**Tabela 1 – Classificação dos blocos cerâmicos**

Bloco na água	Bloco fora da água	Classificação
1	1*	Não eflorescente
2	2*	Não eflorescente
3	3*	Não eflorescente
4	4*	Não eflorescente
5	5*	Não eflorescente

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Embora o bloco cerâmico tenha potencial de formar eflorescências em sua superfície pelas matérias-primas de que é composto, passíveis de conter sais, ou mesmo pelo inadequado processo de queima e secagem, a eflorescência identificada na obra mencionada e reproduzida em laboratório não é proveniente dos blocos cerâmicos, tendo em vista que todos os elementos foram classificados como não eflorescentes e estão de acordo com a NBR 15270-2: 2017.

A imagem 26 contendo os elementos utilizados no referido ensaio revela a inexistência de qualquer mancha branca na superfície dos blocos, confirmando o resultado acima apresentado.

**Figura 26 – Blocos cerâmicos sem aparição de eflorescência**

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

#### 4.2 Ensaio de eflorescência no graute

Para esse procedimento, primeiramente realizou-se a moldagem dos oito corpos de prova em formato cilíndrico de acordo com a NBR 5738: 2016 – Concreto – Procedimento para

moldagem e cura de corpos de prova, com a aplicação de doze golpes de soquete nas duas camadas de material para evitar a formação de vazios. Após o preenchimento completo, os elementos permaneceram em repouso por aproximadamente 48 horas antes da desmoldagem, período este necessário para o endurecimento do material. Os elementos moldados são expostos na imagem 27.

**Figura 27 – Graute moldados em formas metálicas**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na sequência os corpos de prova foram desmoldados e imediatamente submersos em recipiente com água, conforme figura 28, permanecendo neste estado até totalizar 28 dias contados da data de moldagem, procedimento este necessário para a obtenção da cura do concreto, seguindo a determinação da mesma normativa.

**Figura 28 – Corpos de prova submersos em água para cura**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Depois de respeitado o período de cura, os mesmos foram retirados da água e permaneceram em repouso até sua secagem. Nesse período foi realizada a primeira inspeção visual, que constatou a inexistência de formação da eflorescência.

Com resultado insatisfatório para o propósito do estudo, foram realizados testes alternativos todos tendo como objetivo a formação da patologia.

No primeiro teste foram utilizados os mesmos exemplares citados, porém expostos a ciclos de molhagem e secagem. Para tanto, os corpos de prova foram submersos na água e em seguida retirados e expostos para secagem ao ar e após colocados em recipientes com lâmina de água, repetindo-se esse ciclo por aproximadamente cinco vezes com a intenção de criar ambiente favorável para o surgimento da eflorescência. O procedimento descrito pode ser visualizado na imagem 29.

**Figura 29 – Ciclos de molhagem e secagem do graute**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Sem êxito a primeira tentativa nesse formato variado da metodologia inicial, foi realizada nova moldagem de quatro corpos de prova cilíndricos utilizando graute de lote distinto do anterior. Também foram preenchidos blocos cerâmicos com o referido graute, simulando situação mais próxima da realidade da obra, o que é demonstrado na figura 30. Na tentativa de acelerar o surgimento de eflorescência, optou-se por uma mistura mais fluida não seguindo estritamente as recomendações propostas pelo fabricante no quesito água.



**Figura 30 – Moldagem de corpos de provas**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Após atingirem a consistência necessária e desejada, os elementos cilíndricos foram retirados das fôrmas, e assim como os demais, permaneceram sob acompanhamento para identificar alterações, por mais singelas que fossem, sinalizariam o surgimento da patologia investigada o que não ocorreu, frustrando a tentativa.

Por último foram apenas preenchidos com graute de maior hidratação dois blocos cerâmicos menores e também dois corpos de prova em formato irregular. Feitos os procedimentos descritos, constatou-se discreta formação de eflorescência em apenas alguns dos elementos, o que não permitiu chegar a conclusões afirmativas a respeito do agente ou condição que de fato a ocasionou.

**Figura 31 – Graute aplicado nos blocos cerâmicos**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para melhor compreensão das etapas realizadas, as imagens da figura 32 contendo os corpos de prova completamente secos, demonstram que os mesmos não apresentam sinais claros de eflorescência.

**Figura 32 – Corpos de prova com graute curados**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os diversos experimentos descritos, por não atingirem o objetivo proposto de formação da eflorescência ou pela sua discreta formação, inviabilizou conclusões acerca dos requisitos necessários para tal manifestação.

#### **4.3 Ensaio de compressão do graute**

O ensaio consistiu em determinar a resistência à compressão do graute que foram moldados em corpos de prova cilíndricos. Mesmo não obtendo êxito na formação da manifestação patológica nos procedimentos citados na metodologia, optou-se por realizar o procedimento da mesma forma para avaliar a resistência dos respectivos elementos.

Foi realizada a retificação dos corpos de prova para correto nivelamento da base e topo e na sequência os mesmos foram inseridos na máquina de compressão de forma individual como exposto na imagem abaixo, sendo comprimidos por meio de um pistão pneumático com aumento progressivo da carga até o rompimento total.

**Figura 33 – Máquina de compressão**

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na tabela 2 estão apresentadas as cargas aplicadas até ocorrer o rompimento total e também os resultados referentes às amostras ensaiadas individualmente, sendo calculada uma média, somando as resistências das quatro amostras e dividindo-as por quatro.

**Tabela 2 – Ensaio de resistência a compressão**

	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>	<b>CP4</b>
<b>Carga de compressão aplicada (KN)</b>	348	336	356	349
<b>Resistência do corpo de prova (MPa)</b>	44,3	42,8	45,3	44,5
<b>Resistência média (MPa)</b>	44,2			

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

De acordo com os resultados obtidos, todas as amostras apresentaram alta resistência à compressão, tendo em vista que o graute utilizado para a moldagem foi de 30MPa, ou seja, uma resistência média superior à 47%.

Como o graute utilizado para o estudo possui resistência característica à compressão de 30 MPa e os valores se provaram superiores, é possível afirmar que os mesmos estão de acordo com os procedimentos técnicos recomendados.

#### 4.4 Ensaio de efluorescência na argamassa

Para a realização do ensaio de efluorescência na argamassa, foram utilizados 25 kg de argamassa industrializada a granel com adição de 4,5 litros de água conforme a recomendação do fabricante, mistura esta que foi homogeneizada em betoneira.

Foram moldados cinco corpos de prova em formato cilíndrico, cada um deles com 20cm de altura e 10cm de diâmetro, seguindo as determinações da NBR 5738:2016. Também seis corpos de prova em barras retangulares com dimensões de (4x4x16) mm. A figura 34 apresenta no seu primeiro quadro os corpos cilíndricos e no segundo as barras, ambos confeccionados em argamassa no seu estado fresco.

**Figura 34 – Moldagem dos corpos de prova de argamassa de assentamento**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Observando o tempo mínimo recomendado para o endurecimento do elemento, foi realizado o processo de desmoldagem. Para a obtenção da cura completa da argamassa, os mesmos foram expostos a ambiente natural para secagem ao ar, que no caso se deu em área externa coberta e de livre ventilação.

Na sequência, com o processo de cura concluído em 28 dias, para a secagem os corpos de prova foram colocados em estufa controlada em laboratório para manter a temperatura constante de 105 °C, admitindo variação de 5 °C para mais ou para menos (105±5 °C) por um



24 horas. Depois da retirada, os elementos ficaram em repouso para o seu natural resfriamento em temperatura ambiente.

Por último, os elementos foram colocados em bandejas metálicas, como revela a imagem, as quais receberam posteriormente uma lâmina de água de 25mm, que foi sendo reposta na medida da sua evaporação.

**Figura 35 – Corpos de prova desmoldados aguardando a lâmina de água**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

As etapas acima descritas foram selecionadas para este estudo com base em normas técnicas no que era possível sua aplicação e, na ausência de diretriz normativa, utilizou-se de conhecimentos teóricos aliados à observação prática, possibilitando assim a realização de processos alternativos para a obtenção de diferentes resultados.

A investigação sem suporte em normas técnicas motivou a realização de experimentos distintos do anteriormente apresentado, tendo como objetivo a aceleração do surgimento da eflorescência na argamassa e assim ampliar as possibilidades de investigação e compreensão do fenômeno estudado.

Para tanto, ainda utilizando os mesmos elementos foram realizados diversos ciclos de molhagem e secagem para oferecer condição favorável à manifestação da patologia. Neste processo os corpos de prova foram submersos inteiramente e imediatamente retirados da água e deixados para secar naturalmente, sequência esta que foi sendo repetida até o pretendido surgimento da eflorescência, o que não ocorreu.

Mesmo não obtendo êxito até aqui com os experimentos, foi realizada uma nova moldagem de quatro corpos de prova em formato cilíndrico, dois foram aplicados em blocos cerâmicos e uma amostra em formato irregular, os dois últimos simulando condição mais próxima da realidade da obra. Optou-se por argamassa com maior quantidade de água na sua

composição, tendo em vista que a umidade é agente facilitador para o surgimento de eflorescências. Na figura 36 é possível visualizar os elementos moldados e aguardando período de cura.

**Figura 36 – Nova moldagem de corpos de prova**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Atendida a consistência necessária, os elementos foram desmoldados e permaneceram em repouso em constante observação para identificar alterações. Igualmente ao procedimento realizado com o graute, a eflorescência também não se formou na argamassa.

Diante de todas as tentativas de reprodução se tornarem falhas, chega-se à conclusão que a argamassa utilizada, embora com variações de hidratação, ambiente e técnicas adotadas, não apresentou evidências de ser agente de formação da eflorescência.

#### **4.5 Ensaio de resistência à tração na flexão da argamassa**

Para a realização do ensaio foi utilizada 5 barras prismáticas de argamassa, que foram moldadas conforme recomenda a NBR 13279: 2005, citadas e utilizadas em ensaios anteriores. Foi utilizado equipamento composto por três suportes de aço em forma de roletes, sendo dois deles fixados na base distantes 100 mm um do outro e o terceiro centralizado na parte superior.

As barras prismáticas, de forma individual foram corretamente posicionadas sobre os roletes contidos na base e o rolete superior aplicando um carregamento, gerando compressão

no centro da barra até o rompimento total da amostra. Os planos verticais são paralelos e perpendiculares à direção da barra prismática, de modo a formar um ângulo de 90°. O dispositivo de carga para a determinação da resistência à tração na flexão está demonstrado na figura 37.

**Figura 37 – Rompimento das barras prismáticas de argamassa**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na tabela 3 são apresentados os valores das cargas submetidas, expressa em Newtons (N) para obter o rompimento total e também a resistência à tração na flexão de cada corpo-de-prova, em MPa, bem como uma média de resistência no qual foi somado todas as resistências e divididas pelo número de amostras ensaiadas. Os resultados da resistência à tração na flexão foram obtidos através de fórmula citada na metodologia.

**Tabela 3 – Ensaio de flexão da argamassa**

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
<b>Carga no momento da ruptura (N)</b>	628,9	639,5	735,5	692,8	682,2
<b>Resistência à tração na flexão (MPa)</b>	2,4	2,4	2,8	2,6	2,6
<b>Resistência média das resistências à tração (MPa)</b>	2,5				

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.6 Ensaio de resistência à compressão da argamassa

A realização do ensaio foi composta pelas mesmas 5 barras prismáticas de 5MPa de resistência que foram submetidas ao teste de resistência à tração na flexão. Como no ensaio

anterior houve o rompimento dos corpos-de-prova utilizou-se uma das partes de cada amostra para o teste de compressão, como representa a imagem 38.

**Figura 38 – Rompimento à compressão das barras prismáticas de argamassa**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Cada amostra foi individualmente posicionada no equipamento entre o prato inferior e o prato superior, ambos de aço, atentando-se para que a posição dos mesmos permanecesse inalterada durante a aplicação do carregamento, estando o prato da parte superior alinhado livremente no momento do contato com o corpo de prova. No dispositivo foi aplicado um carregamento de 500N/s, admitindo planicidade tolerada sobre a superfície do corpo de prova de 0,01m.

Na tabela 4 são apresentados os valores das cargas aplicadas, valor este, obtido através do dispositivo de compressão e os valores da resistência foram obtidos através de fórmula mencionada na metodologia.

**Tabela 4 – Ensaio de resistência a compressão da argamassa**

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
<b>Cargas de Ruptura à Compressão (N)</b>	9251,9	8591,1	8740,3	8537,8	7653,1
<b>Resistência à compressão (MPa)</b>	5,8	5,4	5,5	5,3	4,8
<b>Resistência média à compressão (MPa)</b>	5,4				

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).



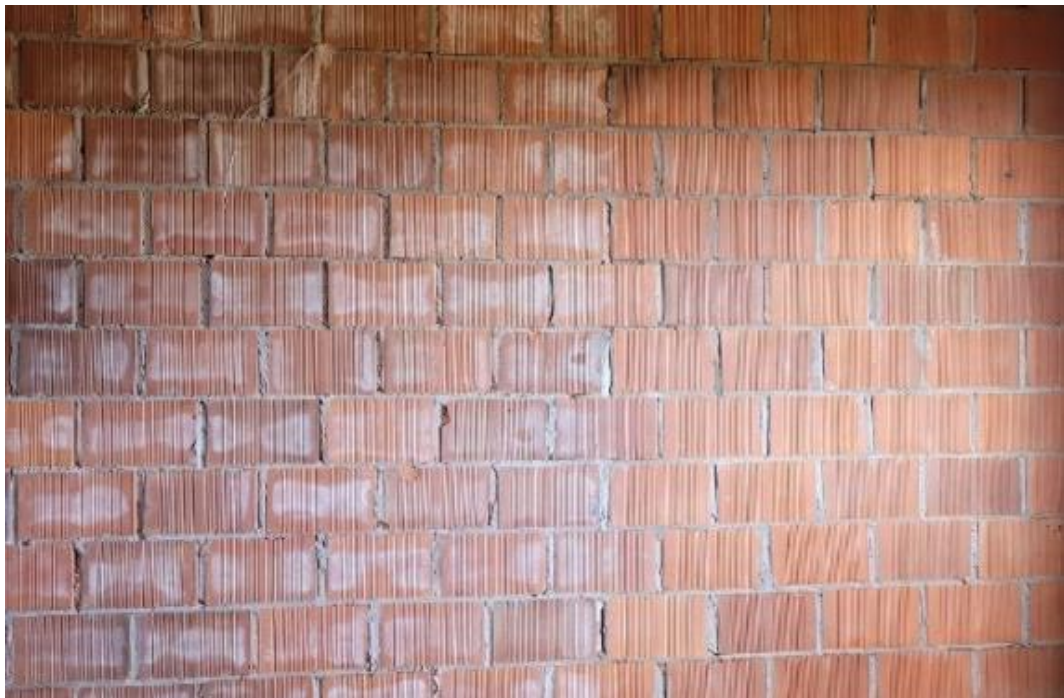
Diante dos resultados é possível afirmar que a totalidade das amostras estão de acordo com as normas, pois os valores de resistência a compressão tiveram uma média superior ao esperado que era de 5MPa.

#### **4.7 Ensaio de resistência de aderência à tração do revestimento**

Para iniciar o procedimento foi realizada a limpeza da eflorescência por meio dos seguintes procedimentos: raspagem e escovação para remover as impurezas contidas na alvenaria; lavagem com ácido clorídrico misturado em água, sendo uma parte de ácido para dez de água (1:10); proteção da alvenaria do contato com águas externas até a secagem completa.

A realização da limpeza, conforme o procedimento acima descrito, se concentrou em metade da parede, mantendo a outra metade em sua forma primária com a eflorescência para obter-se um comparativo de resistência à tração, por meio do teste de arrancamento, o que é representado na figura 39.

**Figura 39 – Parede com e sem eflorescência**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Após essa etapa, a parede foi integralmente coberta por uma camada de chapisco de proporção 1:3 (cimento: areia média), lançada por profissional especializado da própria construtora. Seguindo a recomendação e especificação das normas técnicas foi aguardado um período de cura de 72 horas para a secagem completa e assim prosseguir para próxima etapa.

Respeitado o prazo de secagem foi aplicado o reboco, também por profissional especializado, com composição de 1:2:6 (cimento: cal: areia) na espessura recomendada, sendo os insumos misturados em betoneira na própria obra. Para a cura desta camada de reboco foi observado o prazo de 28 dias para possibilitar a realização do seu arrancamento. A figura 40 representa a ordem dos processos descritos, sendo o primeiro o chapisco e outro a execução do reboco.

**Figura 40 – Parede com chapisco e reboco**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Finalizadas as etapas anteriores, partiu-se para o teste de arrancamento, para o qual foram demarcados 12 pontos específicos contendo eflorescência e 12 pontos livres da anomalia, totalizando 24 pontos. Na definição dos pontos, observando as recomendações das normas técnicas aplicadas, evitou-se furar próximo às áreas inferiores e superiores da parede, optando-se pelos pontos situados na área central da mesma.

Os furos foram realizados utilizando uma parafusadeira Dewalt, realizado a seco com broca do tipo serra-copo, como demonstra a figura 41. Foi empregada seção circular de diâmetro de 50mm com profundidade na argamassa de aproximadamente 2mm no substrato, medida esta, obtida com o auxílio de um paquímetro.

**Figura 41 – Realização dos furos no revestimento**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na sequência foi realizada a colagem de pastilhas metálicas utilizando fina camada de cola epóxi bi componente POXIPOL de alta resistência e secagem rápida, o que é demonstrado na figura 42. Após a colagem, aguardou-se aproximadamente 10 minutos para que a cola fizesse efeito e fornecesse a resistência necessária para o momento do arranque.

**Figura 42 – Colagem das pastilhas metálicas**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Após as pastilhas estarem devidamente coladas e tendo o período necessário para obter resistência, foi realizado o arrancamento por meio de equipamento específico, o que é representado na imagem.

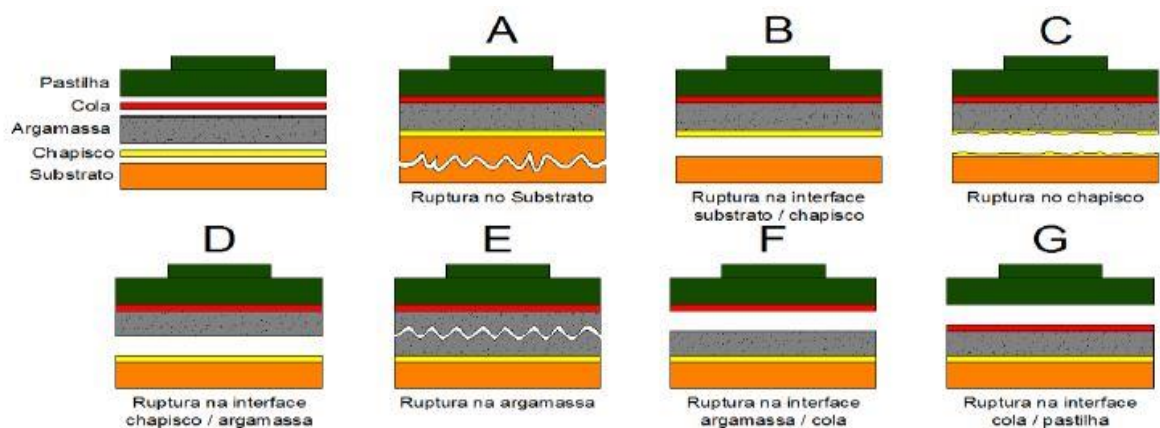
**Figura 43 – Realização do arrancamento das pastilhas metálicas**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

De acordo com a NBR 13749: 2013 é importante considerar que podem ocorrer situações distintas em cada amostra coletada. Conforme o técnico executor, para que o resultado do arrancamento do revestimento seja considerado bom, deve ser superior a 400N, ou 40 Kgf. Na figura 44 são demonstradas as formas típicas de ruptura que os elementos podem apresentar.

**Figura 44 – Formas típicas de ruptura**



Fonte: Elaborado por MMC Lab (2022)

Para melhor compreensão, os resultados do teste de arrancamento foram divididos em duas partes distintas: arrancamento com eflorescência sobre o substrato e arrancamento sem eflorescência sobre o substrato.



#### 4.7.1 Arrancamento com eflorescência sobre o substrato

De acordo com os resultados a ruptura predominantemente é do tipo (E) – ruptura na argamassa e se fez presente em 9 corpos-de-prova válidos.

A resistência média da ruptura predominante tipo (E) foi superior a 0,72 MPa e a resistência média das amostras foi de 0,71 MPa. O coeficiente de variação do ensaio foi de 29,25%. Na tabela 5 estão representados os valores obtidos referentes a área com eflorescência.

**Tabela 5 – Arrancamento do revestimento com eflorescência aplicado em substrato**

Ponto	Área efetiva (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Resistência de resistência à tração (MPa)	Formas típicas de ruptura (%)				Espessura (mm)
				(d)	(e)	(f)	(g)	
1	1.924	1830	0,94	100				32
2	1.924	1650	> 0,85		100			32
3	1.924	1590	> 0,82		100			30
4	1.924	1390	> 0,71		100			32
5	1.924	1130	> 0,58		100			30
6	1.924	1470	0,75	100				30
7	1.924	1060	> 0,54		100			29
8	1.924	2010	> 1,03		100			26
9	1.924	640	> 0,33				100	31
10	1.924	1120	> 0,57		100			31
11	1.924	890	> 0,46		100			27
12	1.924	1860	> 0,95		100			27

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.7.2 Arrancamento sem eflorescência sobre o substrato

De acordo com os resultados a ruptura predominantemente é do tipo (E) – ruptura na argamassa e se fez presente em 7 corpos-de-prova válidos.

A resistência média da ruptura predominante tipo (E) foi superior a 0,86 MPa e a resistência média das amostras foi de 0,85 MPa. O coeficiente de variação do ensaio foi de 34,04%. Na tabela 6 estão representados os valores obtidos referentes a área sem eflorescência.

**Tabela 6 – Arrancamento sem eflorescência sobre o substrato**

Ponto	Área efetiva (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (N)	Resistência de resistência à tração (MPa)	Formas típicas de ruptura (%)				Espessura (mm)
				(d)	(e)	(f)	(g)	
13	1.924	2300	> 1,18	40	60			30
14	1.924	1950	1,00	90	10			31
15	1.924	2690	1,38	100				28
16	1.924	890	> 0,46	20	80			29
17	1.924	1290	0,66	100				30
18	1.924	1670	> 0,86		100			27
19	1.924	920	> 0,47			10	90	28
20	1.924	1880	> 0,96		100			29
21	1.924	2020	> 1,04		100			29
22	1.924	2100	> 1,08		100			29
23	1.924	1380	0,71	100				32
24	1.924	900	> 0,46		100			28

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Diante dos valores obtidos é possível visualizar que no local onde não há a presença de eflorescência, mesmo singelos, o resultado da aderência à tração do revestimento foi 5% superior se comparado ao local em que a anomalia se fazia presente.

#### 4.8 Ensaio de difração de raio X

As amostras foram coletadas, em forma de pó, por meio da raspagem com o uso de uma espátula e uma forma para depositar o resíduo e evitar a perda de material. A etapa de coleta das amostras é apresentada na figura 45, tendo nos dois primeiros quadros a eflorescência instalada no graute e no bloco cerâmico e nos dois últimos as amostras recolhidas de ambos.

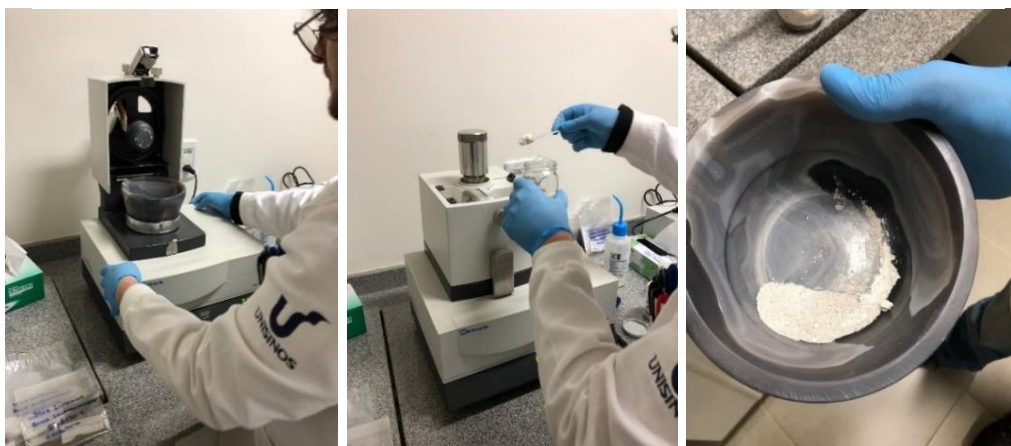
**Figura 45 – Raspagem e coleta das amostras**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Após enviadas ao laboratório, as amostras de eflorescência removidas do graute e também a eflorescência contida no bloco cerâmico passaram por moagem de aproximadamente 2 minutos. Embora as amostras tenham sido coletadas na obra em volume superior, somente foram moídos 5 gramas de material e efetivamente utilizadas 2 gramas que é o necessário para a realização das análises. Atingida granulometria inferior a 50 micras seguiu-se para a etapa de preparação das amostras. Segue a sequência de imagens do processo de moagem descrito, exposto na figura 46.

**Figura 46 – Processo de moagem das amostras**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na preparação os materiais foram despejados a cerca de 10cm de altura do kit, mencionado na metodologia, para que material atingisse o recipiente de forma caótica e desordenada para obter o máximo de faces cristalográficas possíveis de cada mineral, sendo a sua superfície perfeitamente nivelada para posterior inserção na máquina. Este procedimento pode ser acompanhado pelas imagens coletadas expostas na figura 47.

**Figura 47 – Preparação das amostras**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Após a preparação das amostras que envolveu a moagem e separação em recipientes metálicos, as mesmas foram inseridas individualmente na máquina, destacada na imagem 48, uma após a outra e iniciada a leitura de dados.



**Figura 48 – Máquina de difração de raios x**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O ensaio foi realizado de forma individual com aproximadamente 2 horas para cada amostra analisada. Os difratogramas foram interpretados com auxílio do software HighScore Plus, utilizando-se do banco de dados cristalográficos *Open Crystallography Database* (OCD). As análises dos resultados foram interpretadas pelo técnico responsável do laboratório externo além do fornecimento das informações e explicações referente aos gráficos.

Na sequência é apresentado os resultados da composição mineralógica por meio da análise quantitativa utilizando o Método de Rietveld para as amostras de bloco cerâmico e do graute.

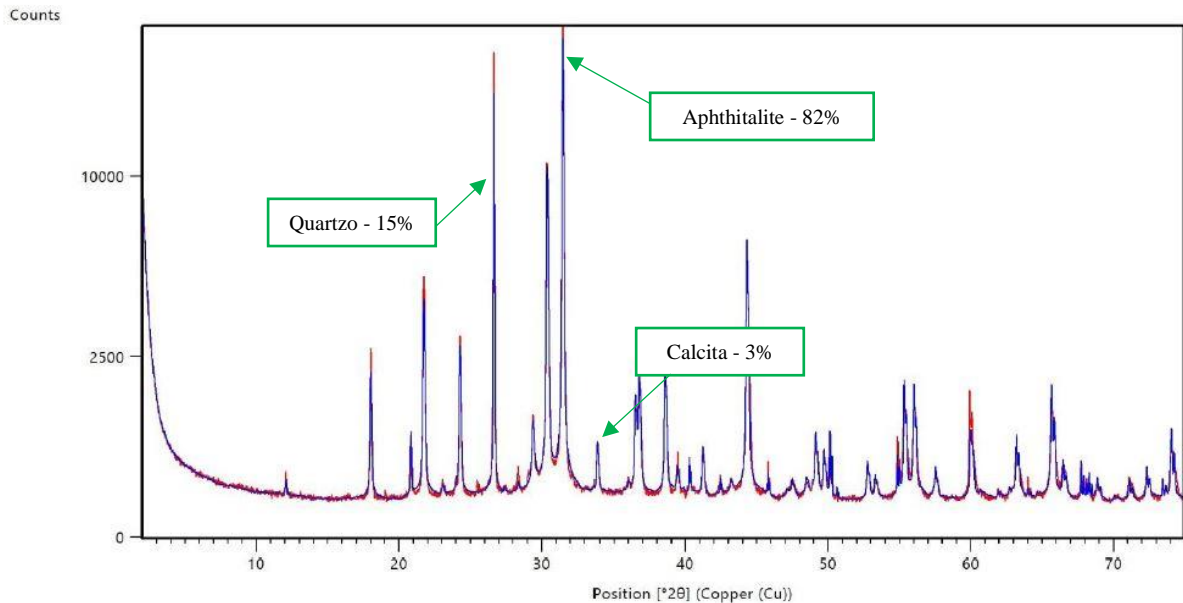
#### **4.8.1 Análise quantitativa pelo Método de Rietveld – Eflorescência em bloco cerâmico**

De acordo com as orientações que executou e interpretou os resultados, o gráfico é formado por duas cores de linhas: linha vermelha e sobreposta a ela uma linha azul, possuindo no eixo vertical a contagem e no eixo horizontal, a abertura angular realizada pela máquina difratora de raio x. Por meio deste gráfico é possível provar que foi feito o método de Rietveld sendo que, quando a linha azul coincidir com os picos da linha vermelha sinaliza que tudo ocorreu como o esperado.

A quantificação do método se faz através dos mínimos quadrados onde a união da linha azul com a linha vermelha torna possível fazer a quantificação da mineralogia dos elementos

coletados e analisados. No decorrer da interpretação dos dados fornecidos pelo software, vai ocorrendo o refino de mineral por mineral até conseguir chegar nesses teores. Os teores dos elementos encontrados nas amostras de bloco cerâmico são expostos na figura 49.

**Figura 49 – Percentual dos teores dos minerais na amostra de efluorescência no bloco cerâmico**



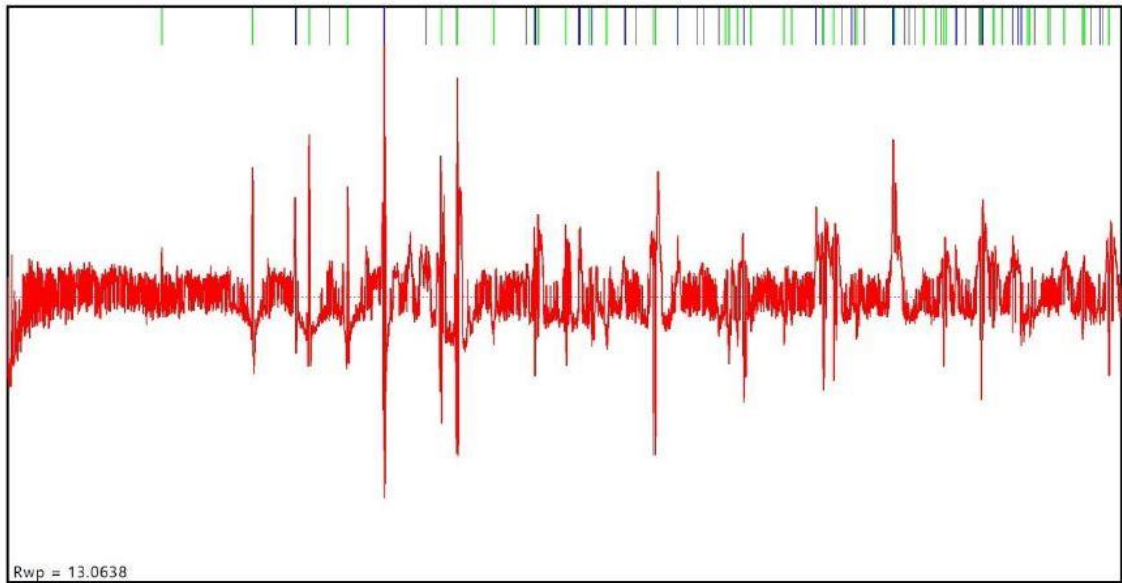
Fase Cristalina	Banco de Dados	Número da Ficha	Teores (%)
Aphthitalite	OCD	96-900-7640	82
Quartzo	OCD	96-901-3322	15
Calcita	OCD	96-900-0096	3

Fonte: ITT OCEANEON (2022)

O Gráfico de *difference plot*, exposto na imagem 50, é o diferencial e indica onde pode estar ocorrendo algum erro na interpretação. Os picos maiores no gráfico com linha vermelha, coincidindo com os picos do gráfico formado pela linha azul anteriormente exposto na figura 49 podem indicar um erro para mais ou para menos.

No canto inferior esquerdo do gráfico está expresso o valor de  $R_{wp}=13.0638$  que é o valor de diferença do erro. O ideal é que esse valor esteja perto de 10.

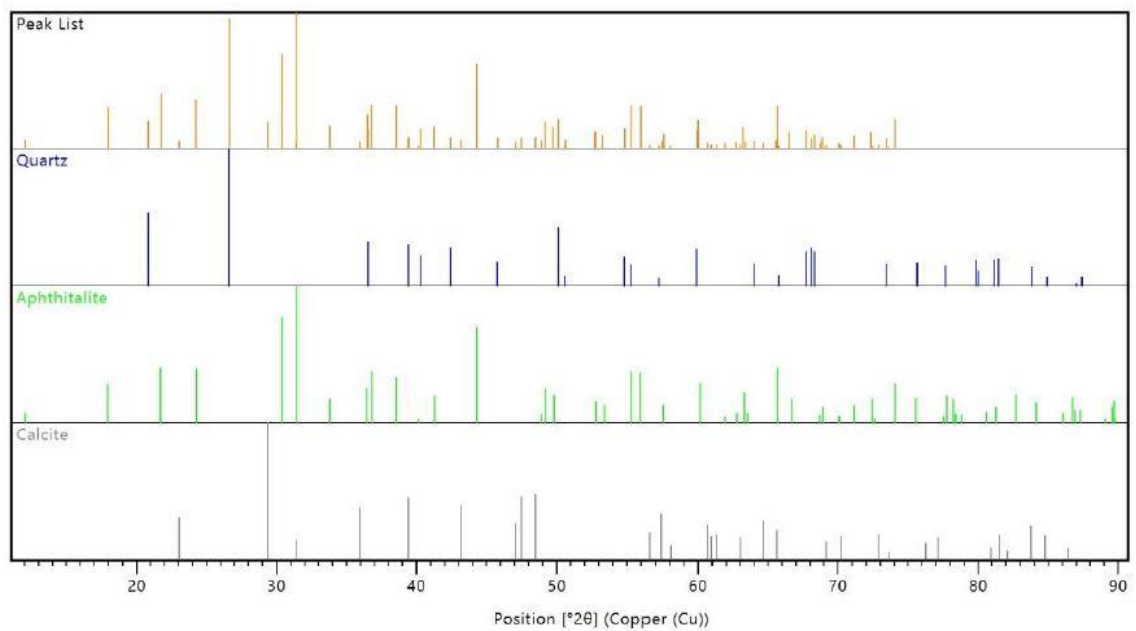
**Figura 50 – Gráfico de *difference plot* para amostra de bloco cerâmico**



Fonte: ITT OCEANEON (2022)

A gráfico exposto na figura 51 representa o *peak list*, que é uma lista de picos apresentados pelos minerais contidos nas amostras bem como a sua composição percentual.

**Figura 51 – Gráfico *peak list* para amostra de efluorescência em bloco cerâmico**



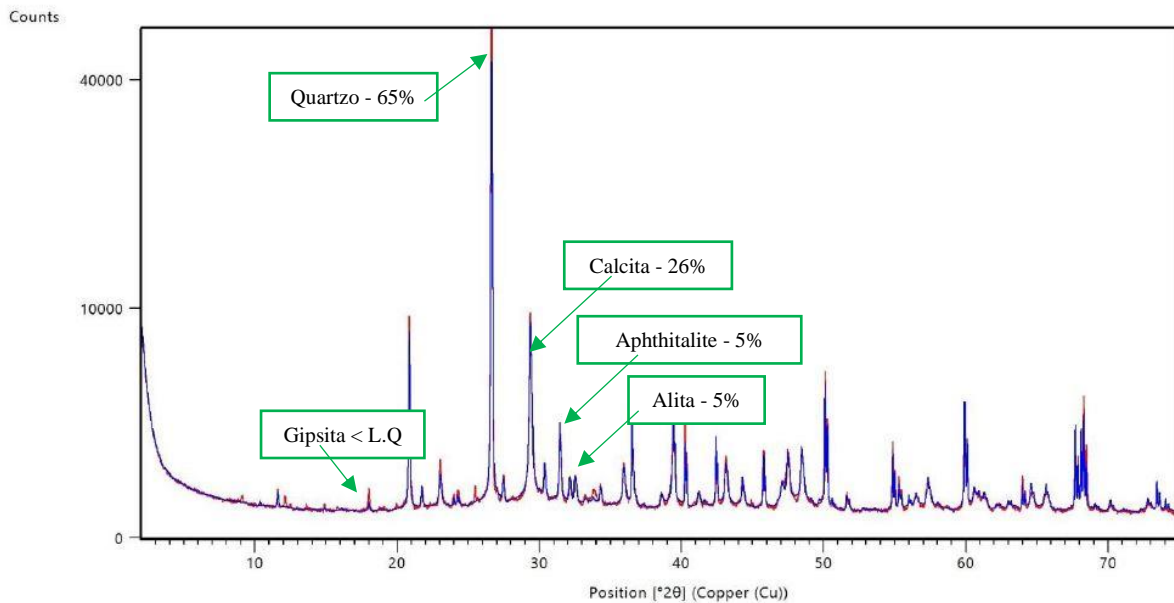
Fonte: ITT OCEANEON (2022)

Por fim, a amostra retirada do bloco cerâmico apresentou grande quantidade de apthitalite (82%), seguido de quartzo (15%) e em menor escala, calcita (3%).

#### 4.8.2 Análise quantitativa pelo Método de Rietveld – Eflorescência no graute

A análise quantitativa para a amostra de eflorescência no graute, segue os mesmos direcionamentos apresentados nas explicações anteriores. Os teores dos minerais presentes na amostra de graute, estão expostos na figura 52.

**Figura 52 – Percentual dos teores dos minerais na amostra de eflorescência no graute**



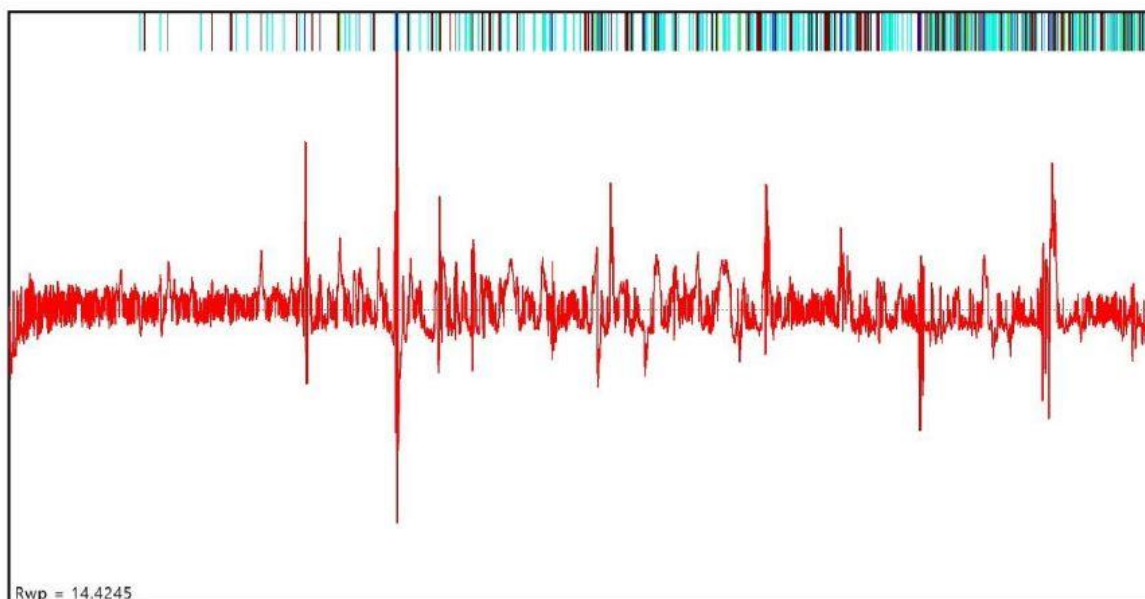
Fase Cristalina	Banco de Dados	Número da Ficha	Teores (%)
Aphthitalite	OCD	96-900-7640	5
Quartzo	OCD	96-901-3322	65
Calcita	OCD	96-900-0096	26
Alita	OCD	96-154-0705	4
Gipsita	OCD	96-101-1075	< L.Q.

L.Q. = Limite quantificável (< 1%).

Fonte: ITT OCEANEON (2022)

No gráfico de *difference plot*, representado na figura 53, no canto esquerdo inferior é expresso o valor de  $R_{wp}=14.4245$  que é o valor de diferença do erro. O ideal é que esse valor esteja perto de 10.

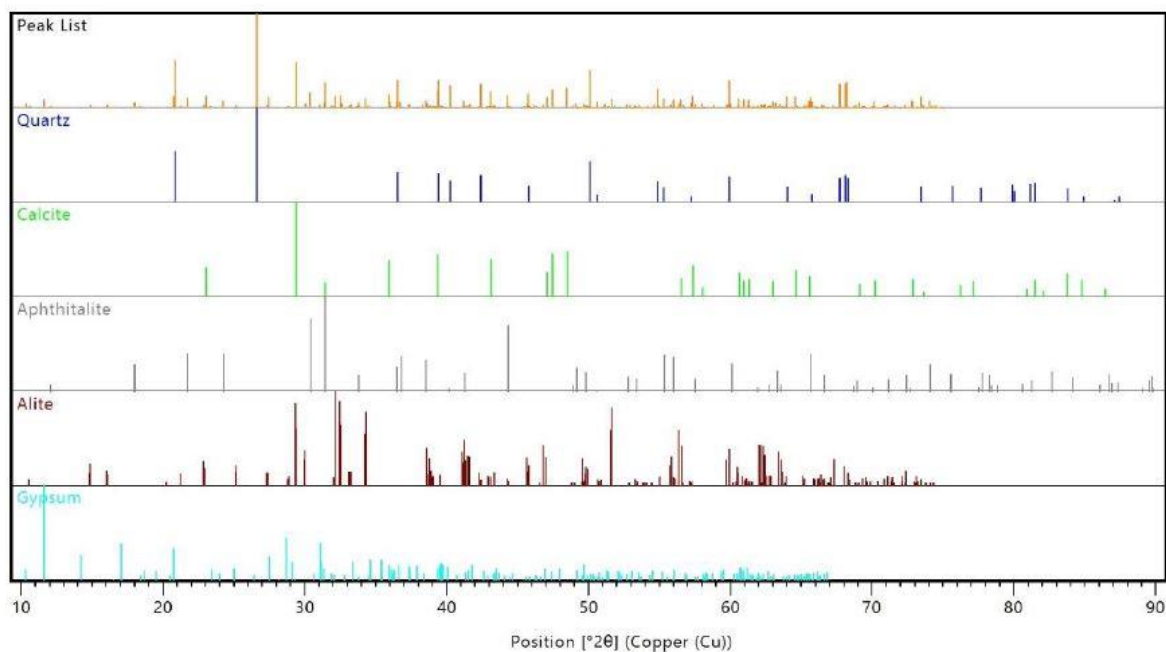
**Figura 53 – Gráfico de *difference plot* para amostra de eflorescência no graute**



Fonte: ITT OCEANEON (2022)

O gráfico exposto na figura 54 apresenta uma lista de picos, o *peak list*, que é uma lista de picos apresentados pelos minerais contidos nas amostras de graute.

**Figura 54 – Gráfico *peak list* para amostra de eflorescência no graute**



Fonte: ITT OCEANEON (2022)

A amostra de graute apresentou como elemento com maior proporção o quartzo (65%), calcita (26%), apthitalite (5%), alita (4%) e uma pequena quantidade de gipsita (<1%).

A apthitalite é um termo em inglês do mineral aftitalita. Esse mineral é de escassa bibliografia e foi utilizado o Portal *Webmineral* para a obtenção de informações sobre referido elemento. Segundo o site o elemento é representado pela fórmula  $(K,Na)_3Na(SO_4)_2$ , sendo composto por 27,46% de potássio, 12,56% de sódio, 20,02% de enxofre e 39,96% de oxigênio. Shepard C U (1835) complementa que o mineral apresenta coloração branca com manchas azuis ou verdes, brilho vítreo, translúcido e se trata de um elemento bastante frágil e quebradiço, com dureza que vai de 2,5 a 3 na escala de mohs.

De acordo com Dana (1984) a alita/halita é um mineral pertencente à classe dos halogenetos, representado pela fórmula  $NaCl$ , apresentando em sua composição 39,3% de Sódio (Na) e 60,7% de cloro (Cl). A sua cor vai do incolor ao branco, mas outras tonalidades podem surgir quando for impura. É um mineral bastante comum sendo encontrado em grandes quantidades na crosta terrestre. O mesmo tem formação em camadas extensas e com irregularidades, precipitadas pelas águas dos oceanos interstratificados com rochas sedimentares. O mineral é associado ao gipso, silvita, anidrita, calcita, argila e areia. A maior aplicabilidade do mineral é na indústria química sendo utilizada como fonte de sódio e de cloro.

Já a calcita conforme Dana (1984), está situada no grupo dos carbonatos. Sua fórmula é  $CaCO_3$  sendo formada 56% de óxido de cálcio (CaO) e 44% de gás carbônico ( $CO_2$ ). É um mineral com dureza três segundo a escala de mohs, apresentando cor clara e brilho vítreo. Assim como o anterior, a calcita também é um mineral bastante comum tendo a sua formação a partir de rochas sedimentares sendo o único mineral presente em certos calcários e o seu emprego mais importante para a área da construção civil é na fabricação de cimentos e cal para a argamassa. O autor acrescenta que o maior consumo de calcário é na fabricação do cimento portland, que é composto de 75% de carbonato de cálcio (calcário), 13% de sílica e 5% de alumina, apresentando em menor quantidade carbonato de magnésio e óxido de ferro. Quando a água é misturada junto desses elementos é formado os silicatos e aluminatos de cálcio hidratados.

Segundo Klain e Dutrow (2012) o quartzo é um mineral do grupo dos Tectossilicatos, composto por 46,7% de silício e 53,3% de oxigênio, sendo representado pela fórmula  $SiO_2$ . Em comparação com outros elementos o quartzo é um mineral com dureza sete na escala de mohs, o que é considerada alta se comparada com outros minerais. Normalmente é incolor ou até mesmo branco, sendo que quando há a presença de impurezas pode apresentar coloração variada. Dana (1984) complementa que o quartzo é um mineral de pureza quase completa e se destaca por suas propriedades físicas serem constantes.

Através de finas partículas possui aplicação direta na construção civil pois o mineral está presente na areia, na argamassa, no concreto e também na fabricação de vidros e ladrilhos. Por ser um material fisicamente transparente, é utilizado também na área científica na fabricação de lentes e primas de equipamentos ópticos.

A gipsita, para Klain e Dutrow (2012), é um mineral pertencente ao grupo dos sulfatos representado pela fórmula  $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , tendo 32,6% de óxido de cálcio (CaO), 46,5% de óxido de enxofre e 20,9% de  $\text{H}_2\text{O}$  na sua composição química. Pode ser encontrado tanto incolor, quanto em tons de branco e cinza e também há a possibilidade de ocorrência de diversas outras tonalidades como amarelo, vermelho e marrom decorrente das impurezas contidas. Em complemento Dana (1984) afirma que a gipsita é se caracteriza por apresentar dureza dois na escala de mohs, podendo ser riscada com a unha.

Klain e Dutrow (2012) complementam ainda que o mineral é o sulfato mais comum e está distribuído em rochas sedimentares e sua ocorrência acontece geralmente em camadas espessas sendo encontrados em várias localidades do planeta. Além disso, o autor complementa que a gipsita pode estar associada a outros minerais, sendo eles: anidrita, dolomita, calcita, halita, enxofre, pirita e quartzo. A gipsita tem grande utilidade na construção civil sendo utilizada como matéria-prima na produção do gesso e também não passando pelo processo de calcinação pode ser utilizada como retardante no cimento Portland.

## 5 CONCLUSÕES

O objetivo principal do trabalho foi analisar as causas e danos ocasionados pelas eflorescências sobre a estrutura como um todo e a partir disso entender os elementos formadores e os impactos que elas podem causar em materiais utilizados na construção civil, sendo o bloco cerâmico e o graute.

Após a revisão bibliográfica dos conceitos e a realização dos ensaios em laboratório e em obra, foi verificado que não houve manifestações de eflorescência no bloco cerâmico e nem na argamassa de assentamento. Quando olhamos para o graute, observamos discreta formação, nada significativo para os resultados da pesquisa.

Conforme a afirmação de Menezes *et al.* (2006, apud Uemoto, 1998), as eflorescências nos blocos cerâmicos causam danos superficiais e comprometem apenas a estética, não comprometendo a parte estrutural. Referente ao graute e a argamassa, como não houve a manifestação da patologia, não é possível confirmar se a premissa também é válida para eles.

Mesmo não obtendo os resultados esperados referentes à formação da patologia, nos testes de compressão a resistência do graute registrada ficou acima da apresentada pelo fabricante, assim como nos testes realizados na argamassa de assentamento que apresentaram valores de resistência à tração na flexão e compressão.

No ensaio de resistência de aderência à tração, os valores obtidos tanto para a superfície contendo eflorescência, quanto para a superfície livre da anomalia, foram superiores ao recomendado na normativa técnica utilizada como base no ensaio pouco afetando a resistência do revestimento argamassado.

Por meio da difração de raios X seguindo o método de Rietveld foi possível descobrir que na amostra de bloco cerâmico foram encontrados minerais como aphtitalite, seguido de quartzo e em menor escala, calcita. No mesmo teste, para a amostra de graute o elemento de maior proporção foi o quartzo, seguido de calcita, aphtitalite, alita e uma pequena quantidade de gipsita.

Analisando os resultados, a eflorescência se provou uma manifestação patológica de difícil reprodução através de meios forçados tanto em laboratório quanto *in loco*. Espera-se que esta pesquisa possa contribuir para a área da construção civil permitindo maior capacidade de identificação de fatores determinantes para a ocorrência das eflorescências. Por ser um tema que carece de material bibliográfico e normas específicas, deseja-se que este estudo agregue conhecimento para profissionais da construção civil, buscando melhor qualidade nas obras de engenharia.



## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por fim, destacam-se os seguintes pontos que podem ser pauta para trabalhos futuros relacionados às eflorescências:

- Realizar um levantamento comparando diferentes locais que contenham eflorescências, identificando se há alguma ligação comum entre esses ambientes.
- Realizar uma pesquisa detalhada do mineral Aphthitalite, o qual foi o mineral de maior predominância e possui bibliografia escassa.
- Fazer um comparativo entre a eflorescência em bloco estrutural cerâmico e o tijolo cerâmico identificando qual deles possui maior tendência ao aparecimento da anomalia.
- Descobrir se há influência do tipo (potável, poço artesiano ou reuso) e da quantidade de água utilizada para a formação da eflorescência.

## REFERÊNCIAS

ABERLE, T.; KELLER, A.; ZURBRIGGEN, R. *Efflorescence. Mechanisms of formation and ways to prevent*. 2º Congresso Nacional de Argamassas para Construção - APFAC, Lisboa, 2007.

ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. *Análise de manifestações patológicas em edifícios de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos em empreendimentos de interesse social de Santa Catarina*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13279: 2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. *NBR 13749: 2013. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação*. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. *NBR 15270-2: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 2: Métodos de ensaios*. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. *NBR 15575-1: Edificações Habitacionais - Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. *NBR 5738: 2015. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. *NBR 5739: 2018. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2018.

BARBOSA, F. B.; JOHN, L. M.; SILVA, V. E.; SILVA, E. C.R. Um comparativo entre os blocos cerâmicos utilizados nas edificações de Caruaru: estudos preliminares. *II Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do IFPE*. Instituto Federal de Pernambuco, Curuaru, 2011.

BAROGHEL-BOUNÍ, V; CAPRA; B, LAURENS, S; A durabilidade das armaduras e do concreto de cobrimento. In: *Durabilidade do Concreto: bases científicas para formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente*. São Paulo: IBRACON, 2014.

BASEGIO, T.M.; BERUTTI, F.A.; BERGMANN, C.P. Suscetibilidade à eflorescência de massas cerâmicas vermelhas. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. *Anais*. São Pedro, 2000.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. *Materiais de Construção*. Volume 1. 5ª ed. Rio de Janeiro, 2008.

BERSCH, R. A. *Avaliação da ação da florescência em cerâmica vermelha com adição de lodo de fosfatização*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

BERTOLINI, L. *Materiais de Construção: patologia, reabilitação e prevenção*. Oficina de textos: São Paulo, 2010.

BERTOTTI, G. *Levantamento das manifestações patológicas observadas em revestimentos argamassados*. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. *Patologia de estruturas*. Editora Oficina de Textos: São Paulo, 2019.

BRAGA, N. M. T. *Patologias nas construções: Trincas e fissuras em edifícios*. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CAMACHO, J. S. *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. Universidade Estadual Paulista. Núcleo de ensino e pesquisa da alvenaria estrutural. Ilha Solteira, São Paulo, 2006.

CASOTTI, D. E. *Causas e Recuperação de Fissuras em Alvenaria*. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de São Francisco, Itatiba, 2007.

DA COSTA RIBEIRO; NOGUEIRA V. S.; SILVA NETO V. J.; DE FREITAS R.; NÓBREGA D.; DA SILVA JÚNIOR A. B. Determinação dos tipos de sais em edificações com eflorescência na cidade de Monteiro. *Artigo*. 6ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Paraíba, 2018.

DA SILVA, M. P. S. Análise estatística das manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada no bairro dos bancários em comparativo com um residencial na cidade de João Pessoa - PB: um estudo de caso. 2019. *Trabalho de Conclusão de Curso* (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de João Pessoa - UNIPÊ, João Pessoa, 2019.

DANA, H. *Manual de Mineralogia*. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro: Editora S.A., 1984.

DE BRITO, W. O. Análise da resistência mecânica, absorção e eflorescência de tijolos na Paraíba. *Artigo*. 6ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios. Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2018.

DE FIGUEIREDO JÚNIOR, G. J. *Patologias em revestimentos de fachadas-diagnóstico, prevenção e causas*. Título de especialista (Especialização em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2017.

DE LIMA E SILVA, L. D.; DE SOUZA, M.V.T.; MARQUES, N.M.; ALVES, I. S. S. S.; GOMES, G. J. C. Análise da resistividade de estruturas de concreto submetidas ao ataque corrosivo de sulfato de magnésio. *Revista Teccen*. P. 23-31, Jul./Dez., 2018.

DE OLIVEIRA JUNIOR, F. A. S. *Identificação das causas da eflorescência nas residências de Caraúbas-RN: estudo de caso*. Universidade federal rural do semiárido. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência e Tecnologia). Caraúbas, 2018.

DE SOUSA, P. A.; GOMES, Taís. Estudo dos efeitos da carbonatação na vida útil de pontes de concreto armado. *Engineering Sciences*, v. 6, n. 2, p. 1-11, 2018.

DE SOUZA, A. F.; DE FARIAS, B. M. Impermeabilização em vigas baldrame: infiltração por capilaridade. *Epitaya E-books*, v. 1, n. 2, p. 111-153, 2022.

DE SOUZA, V. C. M.; RIPPER T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. 1ª ed. Editora Pini: São Paulo, 2009.

FERREIRA, C.C. *Formação da eflorescência em cerâmica vermelha: fatores de influência no transporte dos íons  $SO_4^{2-}$  e  $Ca^{2+}$* . Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FERREIRA, C. C.; BERGMANN, C. P. Formação da eflorescência em cerâmica vermelha: fatores de influência no transporte dos íons  $SO_4^{2-}$  e  $Ca^{2+}$ . *Cerâmica*, v. 57, p. 356-363, 2011.

FIORITI, C.; CHRISTÓFANI, M. P.; TSUTSUMOTO, N.; OKIMOTO, F. Um Estudo das Manifestações Patológicas em Vigas e Lajes de Concreto: Edificações da FCT/UNESP. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v. 2, n. 3, 28 ago. 2017.

FIORITI, C.; SANTOS, B. Principais Problemas Patológicos Investigados em Equipamentos Urbanos de Parque Público. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v. 2, n. 3, 28 ago. 2017.

FISNACK, A. DE MARCO, F. G. Tecnologias e alternativas para garantir o desempenho nas edificações. *Revista Científica Semana Acadêmica*. Fortaleza, 2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/tecnologias-e-alternativas-para-garantir-o-desempenho-nas-edificacoes>. Acessado em: 17 mai. 2022.

FUSCO, P. B. *Tecnologia do concreto estrutural*. 1ª ed. Editora Pini: São Paulo, 2008.

GONÇALVES, E. A. B. *Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

GONÇALVES, T. D.; RODRIGUES, J. D. Argamassas de Revestimento para paredes afetadas por cristalização de sais solúveis: influência do substrato. *3º Congresso Português de Argamassas de Construção*, Lisboa, LNEC. 2010.

JUNGINGER, M. *Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

KAMMLER, H.; BLAUTHER, I.; DE FIGUEIRÊDO, C. A. Fissuras e Trincas na Engenharia Civil. *Artigo – IV Congresso de pesquisa e extensão da faculdade da serra gaúcha*. Caxias do Sul, RS, 2016.

KLEIN, C, & DUTROW, B. *Manual de Ciência dos Minerais*. 23ª ed., Bookman: Porto Alegre, 1999.

LAGE, A. D. B. *Patologias associadas à umidade soluções ao caso concreto*. Trabalho de Especialização em construção civil (Especialização em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

LEITES, L. D. *Revestimento externo de fachadas com porcelanato aderido, com ênfase na patologia eflorescência*. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul, RS, 2020.

LIMA JUNIOR, E. T. P.; SANTOS, M. J. J. *Manifestações patológicas em pontes de concreto armado: estudo de caso referente à ponte Rio Barigui*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Unicesumar - Universidade Cesumar Maringá, 2021.

LOGULLO, B.G. *Influência do Graute e da Taxa de Armadura no Comportamento da Alvenaria de Blocos de Concreto*. Dissertação (Mestrado em Engenharia). UNESP, Ilha Solteira: 2006.

MAIA, D. M. *Manifestações patológicas causadas pela infiltração em moradias do programa minha casa minha vida*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal rural do semiárido. Limoeiro do Norte, Ceará, 2018.

MAPA DA OBRA. *Problemas causados pela lixiviação do concreto*. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/os-problemas-causados-pela-lixiviacao-do-concreto/>. Acesso em: 09 maio 2022.

MARQUES, N. S. *Manifestações patológicas ocasionadas pela umidade: estudo de caso em edificações em Rio Verde-GO*. Trabalho de conclusão de curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Verde, 2021.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. *Concreto, microestrutura, propriedades e materiais*. 3ª ed. IBRACON: São Paulo, 2008.

MELLO, L. S.; SOUZA. *Estudo de corrosão localizada dos aços inoxidáveis em sistemas de resfriamento industrial*. Projeto de Trabalho de Curso (Graduação Engenharia Metalúrgica). Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2011.

MENEZES, R. R., FERREIRA H.S, NEVES G.A, FERREIRA H.C. Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção. *Revista Scielo*, v. 52, n. 321, 2006.

MILITITSKY, J; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. *Patologia das fundações*. Oficina de textos: São Paulo, SP, 2008.

MOHAMAD, G. *Construções em alvenaria estrutural*. Editora Blucher: São Paulo, SP, 2015.

MONTEIRO, C. M. O. L. *Influência da gipsita no surgimento de eflorescência em telhas cerâmicas*. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

NEUMANN JUNIOR, C. *Avaliação do processo de lixiviação em concreto massa: o caso de Itaipu Binacional*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu, Paraná, 2019.

NEVES, A. *Eflorescência: saiba tudo sobre essa manifestação patológica*. Blok, Sorocaba, 2021. Disponível em: <https://www.blok.com.br/blog/eflorescencia> . Acesso em: 09 maio 2022.

NEVES, M. B. J.; VAZQUEZ, E. G. Patologias das estruturas. *Boletim do Gerenciamento*, [S.l.], v. 22, n. 22, p. 11-19, jan. 2021. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/511>. Acesso em: 10 abr. 2022.

NEVES, M. B. J.; VÁZQUEZ, E. G. Patologias das estruturas. *Revista Boletim do Gerenciamento*. Escola politécnica NPPG, UFRJ. Rio de Janeiro, 2021.

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

NEVILLE, A. M., BROOKS, J. J. *Tecnologia do Concreto*. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PEREIRA, L. M. *Avaliação das patologias e da biodeterioração na biblioteca central da UFSM*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

PIRES, J.R. *Patologias na construção dos edifícios*. Caso de estudo, edifício da FICASE na Cidade da Praia. 2013. 2285. Tese (Licenciatura) – Faculdade de Arquitetura. Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, Palmarejo Grande, cidade da Praia, 2013.

PONTES, B. R. *Patologias de infiltrações em unidades habitacionais: estudo de caso em residências no município de Anápolis-Goiás*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Unievangélica. Anápolis, Goiás, 2018.

PORTLAN CEMENT ASSOCIATION. *Trowel Tips Information*. 2004. Disponível em: [https://www.cement.org/docs/default-source/fc\\_mat-app\\_pdfs/masonry/is239-pca-efflorescence.pdf](https://www.cement.org/docs/default-source/fc_mat-app_pdfs/masonry/is239-pca-efflorescence.pdf). Acesso em: 26 jun. 2022.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. Artigo - *Revista técnico-científica*, v. 1, n. 1, 2013.

POSSAN, E. *Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

REIS, Y. *Manifestações de salitre em residências da cidade de Ouro Branco-Alagoas: estudo de caso*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas. Delmiro Gouveia, Alagoas, 2021.

RESENDE, P. B.; MARTINS, R. J. F.; FREITAS, M. S. Fissuras causadas por movimentações térmicas no concreto. *Artigo – Semana nacional de ciência e tecnologia*, p. 1-10, 2018.

ROSA, J. S.; ROSA, S. B. S. *Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado – estudo de caso no município de Uruaçu/Goiás*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Evangélica de Goianésia. Goiás, 2020.

ROUGEAU, P.; GUIRAUD, P. *A Durabilidade no Contexto Normativo Europeu. Durabilidade do Concreto: bases científicas para formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente*. Ed. IBRACON: São Paulo, 2014.

SALLES NETO, M. *Estudo do mecanismo de formação de florescências em revestimentos de argamassa aplicados a substrato cerâmico e o efeito de barreira*. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

SHEPARD C. U. *Aphthitalite, Treatise on Mineralogy*. Second Part, Vol 1, New Haven: Connecticut.

SILVA, D.; PIRES SOBRINHO, C. Procedimento e tratamento para evitar fissuras nas ligações entre alvenaria e estrutura de concreto armado - Um estudo de caso. *Revista de Engenharia e pesquisa Aplicada*, v. 3, n. 1, 26 dez. 2016.

SILVA, J. P. R. *Análise e identificação de anomalias em revestimentos de reboco de um conjunto de edifícios na cidade de Uberlândia, e proposição de novas argamassas com vista à sua recuperação*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SOARES, A. P. F.; VASCONCELOS, L. T.; DO NASCIMENTO, F. B. C. Corrosão em armaduras de concreto. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*, v. 3, n. 1, p. 177-188, 2015.

SOUZA, A. F. de; FARIAS, B. M. Impermeabilização em Vigas Baldrame: Infiltração por Capilaridade. *Epitaya*, v. 1, n. 2, p. 111-153, 2022. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/345>. Acesso em: 12 abril 2022.

SOUZA, M. F. *Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações*. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

TAGUCHI, M. K. *Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações*. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2010.

TECNOSIL. *Manifestação patológica: segregação do concreto (bicheira no concreto)*, 2020. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/manifestacao-patologica-segregacao-do-concreto-bicheira-no-concreto/>. Acesso em: 03 mai 2022.

\_\_\_\_\_. *Retração do concreto: o que é e como minimizá-la?* 2017. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/retracao-do-concreto-o-que-e-e-como-minimiza-la-2/>. Acesso em: 26 abril 2022.

TRAMONTIN, A. P.; MORENO JUNIOR, A. L.; OLIVEIRA, C. R. Avaliação experimental dos métodos de prevenção de fissuras na interface alvenaria de vedação e pilar de concreto. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 6, p. 765-773, 2013.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. *Inspeção, diagnóstico e prognóstico na construção civil*. Mérida, México: Boletim Técnico ALCONPAT Internacional, 2013.

WEBMINERAL. *Aphthitalite Mineral Data*. Disponível em: <http://webmineral.com/data/Aphthitalite.shtml#.Y16DSnbMLcc>. Acesso em: 30 out. 2022.