

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DAS CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ÂNDRIA DEVES ALVES

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS BIOCIDAS EM
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

**CAXIAS DO SUL
2023**

ÂNDRIA DEVES ALVES

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS BIOCIDAS EM
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Civil da Universidade de Caxias do
Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira
Civil.

Orientador: Prof. Me. Vinício
Cecconello

**CAXIAS DO SUL
2023**

ÂNDRIA DEVES ALVES

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS BIOCIDAS EM
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Civil da Universidade de Caxias do
Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira
Civil.

Orientador: Prof. Me. Vinício
Ceconello

Matheus Poletto

Mauricio Schafer

**CAXIAS DO SUL
2023**

RESUMO

ALVES, Ândria Deves. **Avaliação Técnica da Utilização de Aditivos Biocidas em Compósitos Cimentícios**. 2023. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2023.

Embora os compósitos cimentícios tenham várias aplicações, eles ainda apresentam limitações em suas características, incluindo a biodeterioração, devido a ação dos microrganismos. A fim de melhorar essa condição, adicionou-se óxido de zinco (ZnO) como aditivo biocida, com a finalidade de agregar melhor desempenho perante a ação dos microrganismos, além de materiais pozolânicos, as cinzas de casca de arroz, que, de forma conjunta com o aditivo biocida, podem melhorar a resistência mecânica e a absorção de água por capilaridade do compósito cimentício. Neste estudo, avaliaram-se as propriedades de compósitos cimentícios com a adição de óxido de zinco (ZnO) e cinza de casca de arroz (CCA) no estado fresco e endurecido. Foram desenvolvidos traços, variando as adições, em gramas de material, de ZnO em 0%, 5%, 10%, 15% e 20%, além de fixado 10% de CCA, 0,042% de superplastificante e sua relação a/c de 0,5. Para avaliar o desempenho dos compósitos cimentícios, foram realizados ensaios de consistência, resistência à compressão e tração na flexão, absorção de água total e parcial por capilaridade, além da análise visual das propriedades biocidas. Verificou-se uma grande fragilidade nas amostras com incorporação do aditivo biocida, demonstrando queda na sua trabalhabilidade, redução nas resistências em até 97% para tração na flexão aos 7 dias e em até 98% para compressão aos 7 dias, uma absorção de água por capilaridade três vezes maior que a de referência, bem como, um retardo no tempo de cura dos materiais. A análise visual demonstrou pequena variação no tempo delimitado.

Palavras-Chave: Aditivos biocidas. Aditivos bactericidas. Microrganismos. Compósitos Cimentícios. Óxido de zinco.

ABSTRACT

ALVES, Ândria Deves. **Technical Evaluation of the Use of Biocidal Additives in Cementitious Composites**. 2023. Bachelor's thesis in Civil Engineering., Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2023.

Although cementitious composites have several applications, they still have limitations in their characteristics, including biodeterioration, due to the action of microorganisms. In order to improve this condition, zinc oxide (ZnO) was added as a biocide additive, in order to add better performance against the action of microorganisms, in addition to pozzolanic materials, rice husk ashes, which, together with the biocide additive, they can improve the mechanical resistance and the absorption of water by capillarity of the cementitious composite. In this study, the properties of cementitious composites with the addition of zinc oxide (ZnO) and rice husk ash (RCA) were evaluated in the fresh and hardened state. Traces were developed, varying the additions, in grams of material, of ZnO at 0%, 5%, 10%, 15% and 20%, in addition to the fixed 10% of CCA, 0.042% of superplasticizer and their w/w ratio. c of 0.5. To evaluate the performance of the cementitious composites, tests were carried out on consistency, resistance to compression and traction in bending, total and partial water absorption by capillarity, in addition to the visual analysis of the biocidal properties. There was great fragility in the samples with the incorporation of the biocide additive, demonstrating a drop in their workability, a reduction in resistance by up to 97% for traction in flexion at 7 days and by up to 98% for compression at 7 days, a water absorption per capillarity three times greater than the reference, as well as a delay in the curing time of the materials. The visual analysis showed little variation in the defined time.

Keywords: *Biocidal additives. Bactericidal additives. Microorganisms. Cementitious Composites. Zinc oxide.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha avó, Dilce, por todo o apoio, amor, motivação e carinho.

A minha irmã, Luana, pelo amor, carinho e apoio que recebi durante toda a vida e por sempre acreditar em mim.

Ao meu namorado, Cristian, por todo amor, apoio, compreensão e ajuda durante a realização desse trabalho e de toda a graduação.

Ao meu orientador Prof. Vinício Cecconello, pela excelente orientação e por toda a troca de conhecimento realizada durante o desenvolvimento do trabalho.

E ao técnico do laboratório, Mateus Frosi, sem ele não teria obtido sucesso.

De modo geral, gostaria de agradecer a todos aqueles que me acompanharam desde o início da graduação, mesmo aos que não foram citados. Agradeço por todo o apoio, força, ajuda, companheirismo e compreensão, especialmente nos momentos finais. Muito obrigada a todos!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da ação dos compósitos biocidas	19
Figura 2 - Fluxograma do processo experimental	34
Figura 3 - Curva granulométrica	41
Figura 4 - Fluxograma do ensaio para determinação do índice de consistência	44
Figura 5 - Fluxograma do ensaio de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão	47
Figura 6 - Fluxograma do ensaio de absorção de água por capilaridade	49
Figura 7- Fluxograma do ensaio de absorção de água total	50
Figura 8 - Índices de consistência obtidos	52
Figura 9 - Ensaio de resistência a tração na flexão <i>versus</i> teor de ZnO	53
Figura 10 - Ensaio de resistência a tração na flexão <i>versus</i> tempo de cura	54
Figura 11 - Ensaio de resistência a compressão <i>versus</i> teor de ZnO	55
Figura 12 – Ensaio de resistência a compressão <i>versus</i> tempo de cura	56
Figura 13 - Deficiência no tempo de cura dos corpos de prova com 20% de ZnO	57
Figura 14 - Absorção de água por capilaridade	58
Figura 15 – Coeficiente de capilaridade	59
Figura 16 – Absorção de água total e índice de vazios	60
Figura 17 – Corpos de prova aos 7 dias	61
Figura 18 – Corpos de prova aos 28 dias	61
Figura 19 – Corpos de prova aos 64 dias	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos aditivos de Alves (2014)	21
Quadro 2 – Produtos biocidas para o estudo de Vaquero <i>et al</i> (2016)	22
Quadro 3 – Requisitos físicos e mecânicos do Cimento Portland CP	
V-ARI RS	38
Quadro 4 – Determinações facultativas do Cimento Portland CP	
V-ARI RS	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre estudos que realizam experimentação	26
Tabela 2 – Traços definidos	36
Tabela 3 – Quantitativo de material por traço	37
Tabela 4 – Granulometria da areia	40
Tabela 5 – Propriedades da areia	41
Tabela 6 – Propriedades do Óxido de Zinco	42
Tabela 7 – Propriedades das Cinzas de Casca de Arroz	42
Tabela 8 – Propriedades do Superplastificante	43

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCA	Cinza de Casca de Arroz
NBR	Norma Brasileira
RS	Rio Grande de Sul
UCS	Universidade de Caxias do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

a/c	Água/cimento
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
cm ³	Centímetro cúbico
dm ²	Decímetro quadrado
g	Gramas
GPa	Giga Pascal
h	Horas
kg	Quilograma
l	Litros
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mg	Miligramas
min	Minuto
mL	Mililitro
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro quadrado
MPa	Mega Pascal
N	Newton
s	Segundo
SiO ₂	Sílica
Un	Unidade
µm	Micrometro
° C	Graus Célsius
Zn	Zinco
ZnO	Óxido de Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.3 DELINEAMENTO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS.....	16
2.2 ADIÇÕES	17
2.2.1 Adição de ação biocida.....	18
2.2.2 Adições minerais.....	27
2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	28
2.3.1 Vinculadas ao ambiente.....	29
2.3.2 Em função da umidade	30
2.3.3 Por falta de circulação de ar.....	30
2.3.4 Deficiência na hidratação do compósito cimentício	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL	35
3.1.1 Parâmetros fixados	35
3.1.2 Variáveis controláveis.....	35
3.1.3 Quantitativo de materiais.....	36
3.1.4 Variáveis de resposta.....	37
3.2 LIMITAÇÕES.....	37
3.3 MATERIAIS	37
3.3.1 Aglomerante	38
3.3.2 Agregado miúdo	39
3.3.3 Água.....	41
3.3.4 Aditivos e adições	41
3.4 MÉTODOS DE ENSAIO	43
3.4.1 Compósitos cimentícios no estado fresco	43

3.4.2 Compósitos cimentícios no estado endurecido	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	52
4.1.1 Trabalhabilidade	52
4.2 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO	53
4.2.1 Resistência mecânica	53
4.2.2 Absorção de água por capilaridade.....	58
4.2.3 Absorção de água total.....	59
4.2.4 Crescimento microbiano	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE A – RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CIMENTO PORTLAND CP V-ARI RS.....	70
APÊNDICE B – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO E DE COMPRESSÃO NA IDADE DE 7 DIAS.....	71
APÊNDICE C – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO E DE COMPRESSÃO NA IDADE DE 28 DIAS.....	72
APÊNDICE D – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO E DE COMPRESSÃO NA IDADE DE 56 DIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

Os compósitos são materiais compostos por dois ou mais materiais, ambos com suas propriedades e características, resultando em um elemento de atributos superiores. O concreto é um compósito cimentício, onde são acrescentados agregados e/ou aditivos, a fim de apresentar trabalhabilidade, consistência, resistência, entre outras qualidades que o deixa próprio para utilização (LISBOA, 2017).

Os compósitos cimentícios podem ser utilizados para revestimentos, com a finalidade de proteção da edificação, interna ou externamente, prevenindo manifestações patológicas, que podem danificar a construção. Uma das aplicações é o rejuntamento de cerâmicas ou revestimentos, com o intuito de impedir a proliferação de microrganismos, que se manifestam, principalmente, pela absorção da umidade do ambiente e a sujidade nele apresentado (CARASEK, 2017).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2021) demonstra que a infiltração de microrganismos em compósitos cimentícios é um problema comum em estruturas expostas a ambientes agressivos. Esse crescimento de microrganismos resulta, principalmente no manchamento e desagregação das superfícies, devido a produção de ácidos orgânicos que atacam os aglomerantes (CARASEK, 2017). Vaquero *et al* (2016), indica que existe uma possível solução para essa temática, que ainda deve ser amplamente estudada, já que possui pouca referência e experimentação. Sendo ele, a potencial utilização de aditivos biocidas, evitando essas ocorrências de manifestações patológicas provenientes de microrganismos, temática principal neste objeto de estudo.

A adição de ZnO em produtos à base de cimento podem contribuir para com a diminuição do desenvolvimento microbiano, por ser um material já usado como biocida nas mais diversas áreas (Alum *et al*, 2008). Autores como Vaquero *et al* (2016), Klapiszewska (2021) e Voicu *et al* (2022), demonstraram que, ao realizar a adição de óxido de zinco em compósitos cimentícios, têm-se uma melhora importante na resistência microbiana desses materiais.

A adição mineral à compósitos cimentícios oferece benefícios significativos, incluindo a melhoria da resistência e durabilidade do material. Materiais como cinzas volantes, sílica ativa e escória de alto-forno reagem com

o cimento, formando compostos que preenchem os poros e aumentam a densidade do material, resultando em maior resistência mecânica. Além disso, essas adições minerais também o tornam mais resistentes à penetração de substâncias agressivas, como água e produtos químicos, aumentando sua durabilidade (HOPPE FILHO, J. *et al*, 2017). Para tal, as cinzas de casca de arroz serão adicionadas a mistura, para que agreguem melhor desempenho em relação a sua resistência e absorção de água por capilaridade, aos compósitos biocidas, conforme Bezerra (2011).

A partir do estudo, a adição do óxido de zinco e a compatibilização com as cinzas de casca de arroz, serão avaliadas por meio de análises em suas propriedades mecânicas, realizando um comparativo com o crescimento de microrganismos em compósitos com e sem adição de ZnO e CCA, além de verificar se houve melhoria de resistência por parte dos agregados adicionados, concomitantemente ou não.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o desempenho de compósitos cimentícios com adição de ZnO buscando o efeito biocida.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Analisar as propriedades de compósitos cimentícios com e sem aditivos biocidas em seu estado fresco e endurecido;
- b) Comparar o crescimento de microrganismos em compósitos cimentícios tradicionais e em compósitos cimentícios com aditivo biocida.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Avaliação do desempenho, no estado fresco e endurecido, de compósitos cimentícios com aditivos biocidas.

1.3 DELINEAMENTO

Projeto de cunho experimental, atrelado à pesquisa bibliográfica, realizada por meio de livros e artigos científicos. Subsequente é realizada a definição dos métodos e materiais que foram utilizados. Efetuada a moldagem dos corpos de prova e ensaios de propriedades mecânicas, avaliando seu comportamento quando exposto a intempéries e, por fim, é realizada a análise dos resultados obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo estão apresentadas as mais relevantes características dos compósitos cimentícios para o estudo, e quais são as suas influências com o meio, principalmente quando aplicado a ambientes inóspitos; os efeitos dessa adição de aditivos e adições em compósitos cimentícios; aditivos biocidas e seu desempenho quando acrescidos a compósitos cimentícios.

2.1 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

Os compósitos cimentícios são materiais compostos por uma matriz cimentícia, que têm sido amplamente utilizados em diversas áreas da construção civil, como na produção de painéis pré-fabricados, pavimentos, elementos estruturais, entre outros. Apresentam diversas vantagens em relação aos materiais convencionais, como uma maior resistência mecânica, durabilidade, leveza e menor absorção de umidade. Além disso, eles podem ser produzidos a partir de materiais reciclados e resíduos industriais, o que os torna uma opção mais sustentável (Alum *et al*, 2008).

Segundo Lisboa (2017), os compósitos cimentícios expostos ao ambiente podem sofrer vários tipos de degradações, o que pode comprometer suas propriedades e reduzir sua vida útil. Alguns dos principais fatores que afetam a durabilidade dos compósitos cimentícios são, o intemperismo, a corrosão, fadiga mecânica e a degradação biológica. O primeiro fator trata da exposição prolongada a fatores climáticos, como a chuva, o vento e a radiação solar, podendo causar danos, como a descoloração, a formação de trincas, deterioração da superfície. Por segundo, a presença de substâncias corrosivas do ambiente, como ácidos, sais e gases poluentes, ocasiona a corrosão das fibras e da matriz cimentícia, o que reduz a resistência e a durabilidade do material. O terceiro item é ocasionado devido a repetição de cargas mecânicas, como vibração e impacto, podendo causar a fadiga do material, que se manifesta por meio de fissuras e trincas. E, por fim, o último fator, é causado pela presença de organismos biológicos no material, como fungos e bactérias, ocorrendo a chamada degradação biológica, especialmente em ambientes úmidos.

Para minimizar os efeitos da exposição ambiental nos compósitos cimentícios, é importante adotar medidas preventivas, como a utilização de revestimentos protetores, o controle da umidade e da temperatura e a seleção de materiais resistentes ao ambiente em que serão utilizados. Além disso, é importante realizar inspeções regulares para detectar sinais de deterioração e tomar medidas corretivas precocemente (NEVILLE, 2016).

Conforme Lisboa (2017), pesquisas estão sendo realizadas a fim de desenvolver novos materiais de construção, bem como inovação nas aplicações. Um exemplo disso são os aditivos e adições acrescentados aos materiais, que conforme a necessidade para que ela se destina, proporciona uma melhora no desempenho e em suas características específicas.

2.2 ADIÇÕES

As adições, quando empregadas aos compósitos cimentícios, têm como finalidades principais, a melhora na sua trabalhabilidade, aceleração ou retardo do tempo de pega, desenvolvimento de maior resistência mecânica, resistência às fissuras térmicas e à corrosão, aumento da plasticidade sem aumentar o consumo de água, aumento da durabilidade, entre outras possibilidades, dependendo do agregado que é adicionado. As tecnologias empregadas nos aditivos podem ser: substâncias químicas, que agem quando associadas ao sistema cimento-água ou desassociam do mesmo sistema; e adições minerais, que são materiais moídos de forma refinada, estes normalmente encontrados em fontes naturais ou industriais (LISBOA, 2017).

Adição, conforme a NBR 11172 (ABNT, 1990), é utilizada para alterar características do concreto, argamassa ou cimentos, através da sua implementação. A *American Society for Testing and Materials* (2013) define aditivo e adição como qualquer material usado para integrar o concreto ou argamassa, com exceção de água, agregado, cimento hidráulico ou fibra, adicionado antes ou durante a mistura.

Segundo Lisboa (2017), existem alguns tipos de adições disponíveis para utilização, sendo algumas delas: modificadores de pega, redutores de água, incorporadores de ar e aceleradores de resistência. Para além desses citados

há, também, os chamados especiais de desincorporação de ar, ação bactericida e de impermeabilização (NEVILLE, 2016).

2.2.1 Adição de ação biocida

Conforme Colpas (2011) alguns organismos como, bactérias, fungos e insetos afetam de forma negativa o concreto, já que promovem a sua corrosão e degradação, além de manchamento das superfícies, pois são organismos que tiram proveito da porosidade e rugosidade desse material. O aumento desses microrganismos nas faces expostas do concreto ocasiona um alto custo de manutenção, além de proporcionar possíveis contaminações cruzadas, dependendo do ambiente em que estão inseridos (VAQUERO *et al*, 2016).

De acordo com Vaquero *et al* (2016), ao estudar os efeitos que os microrganismos têm sob os materiais cimentícios, demonstrou-se uma redução de 10% na capacidade de geração hidrelétrica em tubulações que possuem presença de microrganismos em suas paredes, já que sofrem, principalmente, com o problema de entupimento dessas conexões, ocasionado por organismos desprendidos das faces internas desses tubos. Ao realizar a manutenção, têm-se a necessidade da limpeza dessas superfícies, o que acarreta maior erosão do material, deixando o ambiente ainda mais propício para a proliferação desses microrganismos, visto que, aumenta sua porosidade e rugosidade.

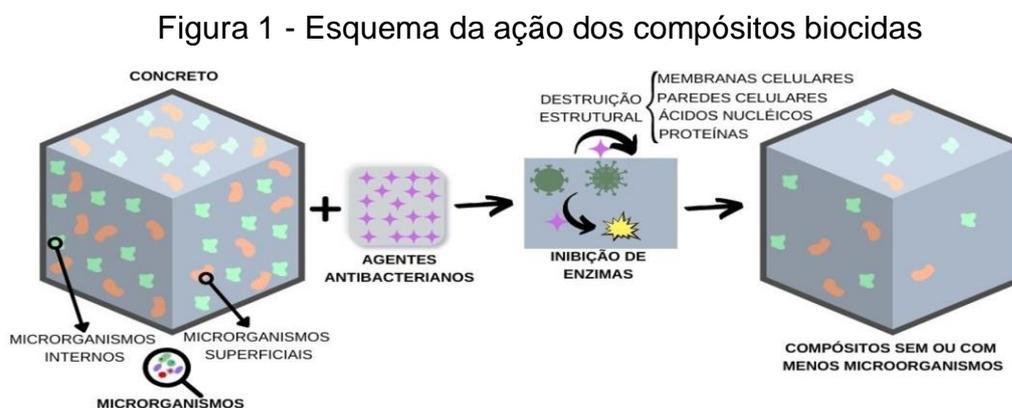
A exposição prolongada de qualquer material cimentício às intempéries ou ações externas formam uma camada de biofilme, composta basicamente por esses organismos prejudiciais ao concreto, as algas são os organismos mais comuns encontrados em tubulações de transporte e distribuição de água, por isso torna dificultoso o fornecimento de água potável pelas concessionárias; esse evento corrobora a necessidade de intervenções biocidas nesses materiais, o que já vêm estimulando empresas a buscarem alternativas para a diminuição dessas proliferações, com a utilização de cobre como agente anti-incrustante, diminuindo a ação dos biofilmes (ALUM *et al*, 2008).

Para sanar esse problema, demanda-se acrescentar aditivos de ação bactericida, fungicidas ou inseticidas, que são compostos tóxicos para os microrganismos que executam a ação de limpeza desse concreto, sem realizar sua remoção (LISBOA, 2017). Alguns agentes usuais nesse ataque

bacteriológico são o sulfato de cobre e o pentaclorofenol, visto que controlam o crescimento de algas e líquens no concreto endurecido, contudo apresentam eficiência reduzida após a passagem do tempo (NEVILLE, 2016).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2021) exige que edificações devam atender a requisitos mínimos de conforto, higiene, durabilidade e estanqueidade. Contudo as localidades de clima tropical, por apresentarem alto teor de umidade em seus componentes e no meio em que são construídas, possuem maior presença de fungos e bactérias, o que acaba interferindo na salubridade e habitabilidade da edificação (ACURIO *et al*, 2019).

QIU *et al* (2020) apresenta um esquema que exemplifica o funcionamento dos compósitos cimentícios biocidas, em que, para se alcançar um compósito cimentício livre da presença de microrganismos tanto na superfície, quanto na sua parte interna, se faz necessária a adição do agente biocida, permitindo a destruição estrutural dos microrganismos; esse esquema está apresentado na Figura 1, que demonstra os agentes antimicrobianos realizando a inibição das enzimas por meio da destruição estrutural das membranas e paredes celulares, seus ácidos nucleicos e proteínas, inibindo a ação dos organismos no compósito cimentício.



Fonte: Adaptado de QIU *et al* (2020)

Os aditivos microbianos têm como principal função auxiliar o concreto a inibir ou eliminar os micróbios, incluindo as bactérias, fungos e algas. Esses compostos podem ser biocidas, microbicidas, antissépticos e desinfetantes, caracterizados por sua capacidade de eliminar microrganismos, podendo ser

classificados como inorgânicos e orgânicos, diretamente relacionados a sua composição química (QIU *et al*, 2020).

Os agentes antimicrobianos inorgânicos atuam a partir da ação dos íons metálicos que se dissolvem gradualmente e reagem com os demais materiais. Incluem metais pesados como prata, níquel e tungstênio, além de compostos metálicos, tais como: molibdato de prata, óxido de cobre, óxido de zinco, tungstato de sódio, brometo de sódio; ácido nitroso livre e materiais antimicrobianos nano inorgânicos (QIU *et al*, 2020). Os agentes inorgânicos têm vida útil extremamente longa quando comparados aos orgânicos, porém podem apresentar toxicidade, o que inviabiliza sua utilização em alguns casos (ACURIO *et al*, 2019).

Conforme estudos de Muraro *et al* (2020), obtém-se que nanocatalisadores de óxido metálicos são componentes eficientes para a inibição de ações microbianas, em microrganismos conhecidos por causar infecções hospitalares comuns. Ao utilizar nanocatalisador de óxido de ferro (FeNPs), detectou-se uma pequena atividade antimicrobiana, em uma escala considerada irrelevante, já que não havia a possibilidade de comparação com demais estudos, devido à sua inexistência até o momento.

Os agentes microbianos orgânicos detêm em sua composição os compostos de ftalocianina de cobre, formato de cálcio, alquilnitro-brometo, isotiazolina/cabamato, ConShield (um polímero catiônico altamente carregado) e ConBlock MIC (ingrediente ativo é *3-trimetoxi silil propil dimetil octadecil* cloreto de amônio), são alguns dos vários agentes orgânicos utilizados como aditivos biocidas em concreto. Normalmente, agentes orgânicos possuem ação antibacteriológica em curto prazo, com baixa resistência a temperaturas elevadas, além de ineficazes aos micróbios que adquirem multirresistência (QIU *et al*, 2020).

Compósitos com aditivos biocidas vêm sido amplamente estudados na literatura, a fim de inibir as ações microbianas nas edificações, o óxido de zinco, tungstênio de sódio e brometo de sódio são compostos inorgânicos que possuem propriedades biocidas (QIU *et al*, 2020). Alum *et al* (2008), em seu estudo, confirma que 20% de óxido de zinco e 20% de brometo de sódio de massa adicionados, foram, dentre todas as amostras analisadas para argamassas com aditivos de compostos individuais, os com maiores resultados inibitórios,

contabilizando 68 mg/m² e 60 mg/m² de clorofila total, respectivamente. E em argamassas com aditivos de compostos binários e terciários, obteve-se 20% óxido de zinco e 20% escória de cobre, obtendo concentrações totais de clorofila de 56 mg/m² e 10% óxido de zinco, 5% cloreto de amônio e 5% escória de cobre com 61mg/m² de clorofila total, respectivamente. Esse estudo, tinha a finalidade de buscar aditivos biocidas à base de cimento para controlar o crescimento de algas em canais de distribuição de água. Foram utilizadas diferentes formulações de biocidas contendo cinzas volantes classe F, sílica ativa, óxido de zinco, escória de cobre, cloreto de amônio, brometo de sódio e brometo de cetil-metil-amônio; o cimento Portland tipo I/II, areia de sílica como material de enchimento, relação areia/cimento de 1:2 e relação água/cimento de 0,5, foram os materiais utilizados para a moldagem dos corpos de prova.

Em concordância ao estudo de Alum *et al* (2008), Alves (2014), avaliou a viabilidade de quatro aditivos antibacterianos comerciais, descritos no Quadro 1, verificando a eficiência dos aditivos contra algumas bactérias selecionadas (*Escherichia coli* e *Staphilococcus aureus*).

Quadro 1 - Descrição dos aditivos de Alves (2014)

Aditivo	Composição	Empresa
Acticide SBA	Solução de nitrato de prata e <i>1,2-benzotiazolin-3-ona (BIT)</i>	Thor Brasil Ltda.
Nogabac LF	<i>5-cloro-2-metil-4-isotiazolin-3-ona (CIT)</i> , <i>2-metil-4-isotiazolin-3-ona (MIT)</i> e <i>bromonitropropanodiol (Bronopol)</i>	Nogascar Química do Brasil Ltda.
Acticide SR 1453	<i>2-octil-2-H-isotiazol-3-ona (OIT)</i> protegida e terbutrina em um carreador sólido	Thor Brasil Ltda.
Ipel FAP 444	Mist. de tricloro difenil éter / deriv. Carbamatos / comp. nitrogenados	Ipel Itibanyl Produtos Especiais Ltda.

Fonte: Adaptado de Alves (2014)

A partir do exposto, o mesmo concluiu que as argamassa com os aditivos Nogabac LF e Acticide SR 1453 foram as que obtiveram os melhores resultados, logo, as mais indicadas para a realização de compósitos bactericidas. Na mistura de Acticide SR 1453 foi observado uma resistência à compressão abaixo do esperado de 2 a 10 MPa, ao mesmo tempo que a mistura com Nogabac LF o

módulo de elasticidade também foi encontrado inferior do expectável da faixa entre 0,10 a 0,20.

Em um terceiro estudo, foram utilizados os aditivos potencialmente biocidas, apresentados no Quadro 2, desse modo foram realizados diversos testes em concreto com esses materiais em sua composição, a fim de avaliar, tanto na idade jovem, quanto na avançada, a sua biodeterioração, por meio de processos de envelhecimento acelerado (VAQUERO *et al*, 2016). Para além desses aditivos, foram acrescentados aditivos como monocomponentes: PG (59,7%), TIBP (0,3%), água (15%) PG (74,44%), TIBP (0,45%), BUBLEX (0,11%); e multicomponentes: MOUSSEX (4%), água (21%), PG (10%), PEG (10%), TIBP (0,15%), OC (1,5%), MOUSSEX (0,3%), EC (80,7%), PG (12,23%), PEG (77,34%), TIBP (0,21%), BUBLEX (0,1%), MOUSSEX (4%), EC (51%); expressos por nome e porcentagem agregada à mistura.

Quadro 2 – Produtos biocidas para o estudo de Vaquero *et al* (2016)

Nome comercial	Efeito
ACTICIDE SR 1288 [®]	Fungicida e bactericida
BIOPOL D 212 [®]	Fungicida
DENSIL P [®]	Fungicida e bactericida
P 24-81	Fungicida e bactericida
BC 98-56	Fungicida e bactericida
VANQUISH 100 [®]	Fungicida, bactericida e algicida
VANTOCIL IB [®]	Bactericida
ACTICIDE SR 1453 [®]	Algicida e fungicida
ACTICIDE MBP [®]	Bactericida e fungicida
IRGASAN DP 300 [®]	Bactericida e fungicida

Fonte: Adaptado de Vaquero *et al* (2016)

Os corpos de prova passaram por avaliação das propriedades físicas, por meio de ensaios e por testes de verificação do crescimento de culturas de organismos (bactérias *Staphylococcus Aureus* e *Escherichia Coli*, as algas *Scenedesmus Vaculatus* e *Stichococcus Bacillaris* e o fungo *Aspergillus Niger*), antes e depois do processo de envelhecimento do concreto. Através dessas verificações, foi possível constatar que o aditivo multicomponente PL-UV-H-2B, composto por MOUSSEX (4%) e EC (51%), apresentou uma boa atividade biocida contra algas, fungos e bactérias, bem como as propriedades mecânicas do concreto permaneceram inalteradas (VAQUERO *et al*, 2016). Ainda sobre o estudo, os monocomponentes BXT/AB, BXT/11, VANQUISH 100, DENSIL P e BC 98-56 e os multicomponentes BXT/12C, BXT/10P e BXT/1 demonstraram

resultados insatisfatórios no processo de envelhecimento; ACTICIDE MBP e P24-81 e BXT/5, também se mostraram ineficientes, porém na fase anterior ao processo de envelhecimento. Enquanto BXT falhou na fase de avaliação das propriedades antimicrobianas, componentes de BIOPOL D212 e VANTOCIL não liberaram uma quantidade significativa de ativo na amostra (VAQUERO *et al*, 2016).

Em experimento desenvolvido por Vicentini, Smania e Laranjeira (2010), foi possível constatar que o óxido de zinco é amplamente utilizado por apresentar propriedades biocidas, inclusive em pH neutro. Neste estudo foram preparados nanocompósitos de quitosana com nanopartículas de óxido de zinco, na proporção 2:1, com o objetivo de aplicar em curativos dérmicos hidrofílicos para feridas e queimaduras, as bactérias testadas foram *Escherichia coli* e *Staphylococcus*, principais autoras de diarreias e pneumonia, respectivamente, mostrando assim que, na presença das nanopartículas de ZnO, houve uma total inibição do crescimento destas bactérias.

Em outro estudo realizado por Adams, Lyon e Alvarez (2006), avaliou-se as proliferações das bactérias em suspensões de pó nas proporções de TiO₂ (66 nm, 950 nm e 44 mm), SiO₂ (14 nm, 930 nm e 60 mm) e ZnO (67 e 820 nm) da Alfa Aesar (Ward Hill, MA, EUA), sob condições escuras e iluminadas. Foram contabilizadas as bactérias antes e após essas mediações. Dessa forma, foi possível constatar que o ZnO resultou em 90% de redução do crescimento da bactéria *B. subtilis*, mas apenas 48% de redução do crescimento em *E. coli*, concluindo que as bactérias gram-positivas foram mais sensíveis a esse composto do que as gram-negativas. Além disso, identificou-se que a iluminação não influenciava no crescimento populacional desses microrganismos de forma expressiva.

Outra pesquisa utilizou-se de composições com óxido de zinco e lignina, em três proporções distintas: 1 parte em massa de ZnO ou ZnO-SiO₂ por 5 partes em massa de lignina (1:5); 1 parte em massa de ZnO ou ZnO-SiO₂ por 1 parte em massa de lignina (1:1) ; 5 partes em massa de ZnO ou ZnO-SiO₂ por 1 parte em massa de lignina (5:1); além dos compostos que compõem os compósitos cimentícios: cimento contendo 95% de clínquer Portland como componente principal e um regulador do tempo de pega da empresa *Gorażdże SA*, Polônia, e areia de quartzo padrão de *Kwarcmix*, Polônia; adição de sílica

pura, a fim de preencher os vazios do concreto e a adição de lignina, que proporciona melhora na plasticidade dos sistemas. Neste estudo, pode-se observar que os sistemas enriquecidos com ZnO apresentaram alta resistência antimicrobiana, já que apresentaram pouco crescimento microbiano aparente, e quando comparado com o óxido de zinco com a adição de sílica, causou uma deterioração do efeito antimicrobiano, apesar do aumento da resistência, ocasionado pela perda do ZnO no sistema (KLAPISZEWSKA, 2021).

Em pesquisa mais recente, desenvolvida por Voicu *et al* (2022), compõe-se amostras com 95% de cimento Portland e 5% de pó de óxido de zinco (denominado MZ5), 90% de cimento e 10% de ZnO (MZ10), 85% e 15% (MZ15) e, por fim, 80% e 20% (MZ20). Após a preparação dos corpos de prova, foram realizados ensaios para verificação das propriedades antimicrobianas com a utilização de cepas microbianas (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 e *Candida albicans* ATCC 10231), obtidas em laboratório. Durante os ensaios, foi possível detectar a presença de camadas de biofilme em todos os corpos de prova, para os organismos *S. aureus* e *P. aeruginosa*, enquanto para a *C. albicans* detectou-se a presença de uma cepa de levedura. Nos resultados obtidos no estudo, foi possível concluir que o crescimento planctônico na linhagem de levedura é inibido, de forma significativa, em todas as amostras, principalmente em MZ15 e MZ20, que possuíam maiores concentrações de óxido de zinco, além do desenvolvimento do biofilme ser mínimo nesses mesmos corpos de prova. Além disso, foi possível constatar um importante atraso na hidratação e endurecimento do cimento Portland, quando acrescidos o pó de ZnO. Sendo assim, os resultados obtidos demonstraram que os materiais à base de cimento podem ser melhorados em termos de eficiência antimicrobiana, quando modificados com ZnO (VOICU *et al*, 2022).

Além de ser um aditivo biocida, o óxido de zinco possui propriedades de melhoria na resistência do concreto. Em pesquisa aprofundada, onde se realizou adições de ZnO há 2%, constatou aumento de 20% na resistência à compressão, podendo ser utilizado para produção de concreto de alta resistência; quando adicionado em percentuais menores têm efeito na alteração do tempo de pega do concreto, logo, podem ser usados como aditivos retardadores, sem afetar direta e indiretamente a sua resistência (ANANDARAJ *et al.*, 2022). Outra

pesquisa aponta que, o aditivo físico de óxido de nano-zinco provocou a melhora nas propriedades mecânicas e físicas do compósito, pois preenche os vazios e promove uma maior impermeabilidade do concreto (KHALAF *et al*, 2021).

Visali, Priya e Dharmaraj (2021) verificou que com a adição de óxido de zinco ao concreto promoveu um tênue aumento de 7% relacionado a resistência à compressão, além disso, pôde concluir que o ZnO atua como fotocatalisador e cria a capacidade de autolimpeza do material, possuindo boa absorção UV e deixando as propriedades do concreto inalteradas. Esse estudo utilizou-se de corpos de prova de compósitos cimentícios com uma mistura de superfície com o aditivo de zinco, cimento, *filler* e água, realizando sua testagem em resistência à compressão aos 28 dias de cura.

Em outro estudo, desenvolvido por Li *et al* (2021), foram adicionados teores em massa de 0,1% e 0,2% de óxido de zinco no Cimento Portland, concluindo-se que o ZnO aumentou o tempo de pega da pasta de cimento; aumentou as idades de cura, apresentando uma melhora na resistência à compressão ao longo do tempo de cura (7 dias, 14 dias e 28 dias), apesar de, nos dias iniciais, haver uma redução (1 dia e 3 dias); o volume cumulativo de poros teve uma diminuição e o grau de hidratação encontrou-se proporcional ao seu respectivo volume; houve redução do calor de hidratação da pasta na idade precoce, aumentando no estágio posterior; e, por último, houve um retardo na hidratação precoce, ainda que, obteve-se pouco efeito na hidratação posterior.

Langaro *et al* (2010) realizou um estudo consistido em adição do óxido de zinco em compósitos cimentício e avaliação da influência no seu tempo de cura e de sua resistência a compressão do material. Os resultados demonstraram uma forte influência que o ZnO teve sob o cimento Portland, mesmo em baixas concentrações, as pastas com 1% de ZnO obtiveram um tempo de cura duas vezes maior quando comparadas ao de referência. Os tempos de início de pega para os teores de 5%, 10% e 15%, aumentaram gradativamente conforme a quantidade de óxido incorporado, demorando, aproximadamente, oito vezes mais tempo do que o de referência, chegando a apresentar 56 horas, para o traço com 15%. Suas resistências mecânicas se apresentaram baixas aos 7 dias de cura, no caso com os de maior teor houve rompimento apenas no capeamento dos corpos de prova, sem necessidade de

aplicação de força mecânica; já aos 28 dias, mostraram valores maiores, porém reduzidos a 50% do valor de referência.

A partir desses estudos apresentados ao longo do trabalho, realizou-se um resumo, referente aos quantitativos de cimento, areia, relação água-cimento, aditivos biocidas e minerais que os próprios autores utilizaram, a fim de determinar o traço da pesquisa em questão, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1– Comparativo entre estudos que realizam experimentação

Referência	Cimento	Areia	A/C	Aditivo Biocida	Aditivo Mineral
Alum <i>et al</i> (2008)	1	2	0,5	10%	10%
				20%	
				25%	
Klapiszewska (2021)	1	2	0,3	0,50%	4,50%
				2,50%	2,50%
				4,50%	0,50%
Visali, C.; Priya, A.K.; Dharmaraj, R (2021)	1	3	0,5	3%	-
				5%	
				7%	
Anandaraj, S. et al (2022)	1	3	0,7	5%	-
			0,7	2,50%	
			0,7	2%	
			0,6	1,50%	
			0,6	1%	
			0,5	0,50%	
Voicu et al (2022)	1	3	0,5	5%	-
				10%	
				15%	
				20%	
				-	5%
				-	10%
				-	15%
				-	20%

Fontes: Alum *et al* (2008), Klapiszewska (2021), Visali, C.; Priya, A.K.; Dharmaraj, R (2021), Anandaraj, S. et al (2022) e Voicu et al (2022).

Os dados elencados demonstraram que a relação água-cimento mais utilizada foi de 0,5, bem como sua relação cimento-areia de 1:3. Além disso, os teores de óxidos de zinco variaram entre 0,5% à 25%, sendo os mais comuns os

de 5%, 10%, 15% e 20%, assim como os aditivos minerais, que oscilaram entre 0,5% a 20%, em que 10% de teor foi o mais utilizado.

2.2.2 Adições minerais

As adições minerais são produtos insolúveis, finamente moídos ou finos, naturais ou artificiais, que agregam melhoria na sua composição, quando acrescentados ao compósito cimentício. A sua eficiência depende, diretamente, da forma como se é obtido esse material até suas condições de cura. Os materiais pozolânicos, materiais cimentantes e *fillers* são os tipos mais comuns de adições minerais (FONSECA, 2010).

A NBR 12653 (ABNT, 2014) classifica os materiais pozolânicos através de sua origem, natural e artificial. A sílica ativa, cinza volante, cinza vulcânica, caulinita calcinada e cinza de casca de arroz (CCA), são adições que se enquadram nesse grupo. A sílica ativa é produzida em fornos que realizam a fusão de suas partículas, em que ocorre a redução do quartzo pelo carbono em altas temperaturas. Suas características, como cor, distribuição granulométrica e composição química, dependem do tipo de liga produzida nesse preparo, além do tipo de forno, composição química e dosagem das matérias-primas. A sílica é composta, sobretudo, de SiO_2 , com quantidades reduzidas de alumina, ferro, cálcio, álcalis, carbono, entre outros materiais, além de ser um silicoso ou sílico-aluminoso que, em si mesmo, possui pouca ou nenhuma propriedade cimentante. De uma forma refinada e com a presença água, esse material reage quimicamente com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento, formando compostos com propriedades cimentantes (FONSECA, 2010).

Cinza volante é um tipo de pozolana artificial, originária do resíduo finamente dividido ou granulado que resulta da combustão do carvão mineral de usinas termelétricas. Enquanto a vulcânica é uma pozolana natural, proveniente de cinza vulcânica. A caulinita calcinada também é uma pozolana artificial, normalmente derivada da calcinação de argilas cauliníticas. Por fim, têm-se a cinza de casca de arroz, uma pozolana artificial que emana do processo de queima dessa casca de arroz, usada corriqueiramente no concreto, mostrando-se altamente eficiente (GOMES; POGGIALI; AZEVEDO, 2019).

Em estudo desenvolvido por Kawabata, Savastano Junior e Sousa-Coutinho (2012), realizou-se a substituição de 10% do cimento por cinzas de casca de arroz, bem como a testagem desses corpos de prova pela resistência à compressão e flexão em diferentes idades do concreto e sua absorção por capilaridade. Dessa maneira, foi possível concluir que esse resíduo agrícola aprimorou as propriedades mecânicas e de durabilidade e envelhecimento rápido do concreto, desenvolvendo um concreto leve e sustentável. Outrossim Bezerra (2011), realizou testes com CCA nas argamassas com adição de 9% em sua mistura, e obteve um bom desempenho aos vinte e oito dias com a argamassa de traço 1:1:6, demonstrando a sua eficácia em relação a esse quesito.

Segundo Gomes, Poggiali e Azevedo (2019), os materiais cimentantes são os que independem da utilização do hidróxido de cálcio para formar um produto cimentante. A escória granulada é um produto que se enquadra como adição mineral, e é obtido pela fusão e arrefecimento da escória de ferro em um alto-forno, produzindo um produto vítreo granulado, transformado em um pó fino para fins de comercialização. Os elementos dos mais comuns para os menos comuns, respectivamente, são os óxidos de cálcio, silício, alumínio, magnésio, ferro, manganês, titânio e enxofre.

Se trata de um *filler*, um material finamente dividido, com partículas de diâmetro médio próximo ao do cimento, constituído, normalmente, de materiais naturais ou materiais inorgânicos processados. Esse componente é utilizado nas mais diversas aplicações, que vão desde a composição de espessadores de asfaltos fluidos, até à adição a cimentos para a diminuição de vazios. Suas propriedades são de corrigir os finos presentes na areia e melhorar a qualidade e durabilidade do concreto, quando presentes em pequenas quantidades no mesmo, conseqüentemente, melhorando seu desempenho a fissuração, trabalhabilidade, permeabilidade e exsudação (GOMES; POGGIALI; AZEVEDO, 2019).

2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As manifestações patológicas encontradas em compósitos cimentícios são corriqueiras e se formam das mais variadas formas; são classificadas em

físicas, mecânicas, químicas e biológicas, podendo haver sobreposição desses fenômenos em um único evento. Essa deterioração pode ocorrer por fenômenos externos (intempéries, umidade, choques mecânicos, entre outros), como por problemas construtivos, englobando a qualidade dos materiais, a composição do traço da argamassa e a sua execução (CARASEK, 2017).

2.3.1 Vinculadas ao ambiente

Segundo Toumela (2010), patologias biológicas são normalmente ocasionadas pela degradação do compósito cimentício decorrente da ação de microrganismos. Essa biodeterioração altera o meio em que se encontra, já que a atividade vital dos organismos provoca uma alteração indesejável no material. Os danos causados pelo ataque desses organismos são tanto de ordem estética quanto funcionais; a biodegradação mecânica ocorre pelo rompimento do material devido à pressão exercida na superfície por organismos macroscópicos; a estética é ocasionada somente na superfície, por manchamento ou mudança na coloração, sem alteração nas composições químicas; e na biodeterioração química, as bactérias ou fungos utilizam o concreto para sua nutrição, além de liberar ácidos, danificando o material (ARAÚJO *et al*, 2019).

Ainda conforme Araújo *et al* (2019), os organismos são bastante versáteis, visto que se nutrem de elementos básicos encontrados no ambiente, sendo eles: o Carbono (C), Nitrogênio (N), Fósforo (P), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), Enxofre (S), Sódio (Na) e Ferro (Fe). É por meio de ataques ácidos, tensão de sais, complexação e ação de biofilme que os microrganismos agem e, se tratando de deterioração dos materiais de construção, nota-se uma grande variedade de microrganismos, tais como bactérias, cianobactérias, algas e fungos. Em estudo desenvolvido por Colpas (2011), em que avaliava o comportamento das bactérias em concretos com tratamentos diferentes, através da adição de lodo ou areia, foi possível constatar maior crescimento desses organismos em concreto com maior porosidade, independentemente da adição de lodo ou de areia em sua superfície.

2.3.2 Em função da umidade

Conforme Colpas (2011), a umidade é um dos fatores ambientais que mais afetam os compósitos cimentícios, podendo causar várias manifestações patológicas. Algumas das principais patologias relacionadas à umidade em compósitos cimentícios são, degradação por eflorescência, por lixiviação, por hidrólise, por oxidação e por biodeterioração. A primeira consiste em sais solúveis presentes no compósito cimentício que são dissolvidos pela água e, em seguida, depositados na superfície do material no momento em que a água evapora, podendo causar manchas e deterioração da superfície. O segundo, trata-se de um processo em que a água dissolve os componentes solúveis do compósito cimentício, como a cal, deixando-o menos resistente e sujeito a fissuras e trincas. No seguinte a água reage quimicamente com o compósito cimentício, levando à decomposição da matriz cimentícia e à perda de resistência do material. Na oxidação, a água reage com as fibras metálicas presentes no compósito cimentício, causando sua corrosão e perda de resistência. E por fim, por biodeterioração, objeto de estudo deste trabalho, visto que a umidade também pode favorecer a proliferação de organismos biológicos, como fungos e bactérias, que vêm a causar a deterioração do material.

Para prevenir essas manifestações patológicas, é importante adotar medidas para controlar a umidade, como a utilização de impermeabilização adequada, o controle da drenagem, a ventilação adequada e a seleção de materiais resistentes à umidade. Além disso, a realização de inspeções regulares pode ajudar a identificar sinais de deterioração precocemente e tomar medidas corretivas antes que a patologia se agrave (TOUMELA, 2010).

2.3.3 Por falta de circulação de ar

A falta de circulação de ar é um fator que pode causar manifestações patológicas em compósitos cimentícios, principalmente em ambientes úmidos. As mais corriqueiras são a presença de mofo e bolor, causando manchas, deterioração da superfície e odor desagradável; por eflorescência, visto que favorece o acúmulo de umidade nos compósitos cimentícios, o que pode levar à

formação de sais solúveis na superfície do material; a lixiviação dos componentes solúveis; além da degradação por hidrólise (ARAÚJO *et al*, 2019).

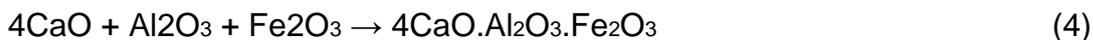
Para prevenir essas manifestações patológicas em compósitos cimentícios causadas pela falta de circulação de ar, é importante garantir a ventilação adequada do ambiente, especialmente em locais com alta umidade. Além disso, a utilização de materiais impermeáveis e resistentes à umidade pode reduzir a probabilidade de patologias relacionadas à falta de circulação de ar (CARASEK, 2017).

De um modo geral, os problemas patológicos estão constantemente evoluindo, com tendência a se agravar com o tempo, acarretando outros problemas associados (OLIVEIRA; OLIVEIRA; ARAÚJO, 2019). Os principais problemas causados são, o aparecimento de fissuras e trincas, umidade ascensional, deslocamento do revestimento e alteração precoce no aspecto original do material (baixo desempenho e baixa durabilidade dos materiais empregados); essas vicissitudes devem ser tratadas de forma preventiva, já que ocorrem desde a fase inicial da execução (CORREIA, 2013).

2.3.4 Deficiência na hidratação do compósito cimentício

Segundo Liu, S.; Ouyang, J.; Ren; J. (2020), o cimento possui, como principal composto, o clínquer e, para sua produção, se faz necessária a injeção de calcário e argila em um pré-aquecimento, ocasionando uma reação de decomposição do carbonato de cálcio contida na amostra, obtendo monóxido de cálcio (CaO) e gás carbônico (CO₂). O monóxido de cálcio é fundido aos óxidos de alumínio, de silício e de ferro provenientes da argila, à medida que aumenta o calor, dando origem a novos compostos, silicato dicálcico (C₂S), silicato tricálcico (C₃S), aluminato tricálcico (C₃A) e ferroaluminato tetracálcico (C₄AF), apresentados nas reações químicas descritas nas Equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.





Esses componentes dão ao cimento algumas propriedades essenciais para sua eficiência, mas os principais resultantes das reações entre eles, são os silicatos de cálcio hidráulicos (C-S-H) e as etringitas ($\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$), que têm como vantagem a velocidade de hidratação, responsável pelo endurecimento e resistência do cimento, com a formação de cristais invólucros ao seu grão (LIU, S.; OUYANG, J.; REN; J.,2020).

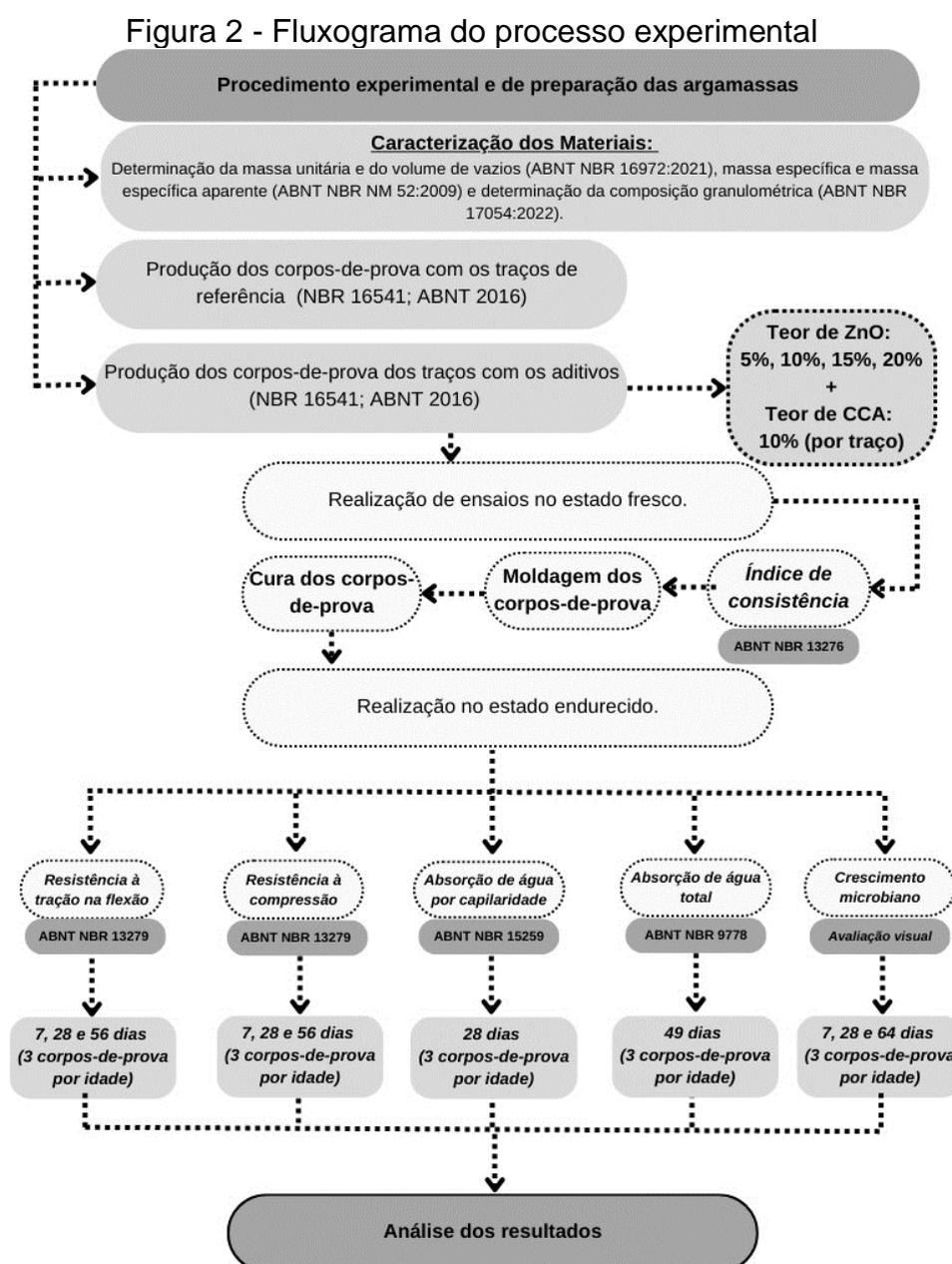
A etringita ocorre durante a hidratação do cimento, com a formação de cristais na sua matriz e pode ser inibida se houver falhas durante esta fase, ocasionando a chamada etringita tardia, que se desenvolve em um determinado tempo após a cura do material, podendo gerar manifestações patológicas nos materiais ao longo dos anos. Essa patologia pode desenvolver alguns problemas a longo prazo, como a expansão e fissuração, causada por tensões internas no material; a redução da resistência mecânica, devido à expansão volumétrica e a fissuração, as quais reduzem a capacidade de suporte do material; a degradação química, já que aumenta a porosidade do material, o que pode torná-lo mais suscetível à redução da durabilidade e a uma necessidade de reparos e substituições frequentes; e a perda de aderência causada pelas fissuras, comprometendo, ainda mais, a estabilidade e a segurança da estrutura (POUPELLOZ, E.; GAUFFINET, S.; NONAT, A, 2020).

Ainda segundo Poupelloz, E.; Gauffinet, S.; Nonat, A. (2020), evita-se esse fenômeno por meio da seleção adequada dos materiais com baixos teores de sulfatos ou por meio da utilização de aditivos que reduzam a quantidade de sulfatos presentes nos compósitos; pelo controle da cura, usando técnicas de cura úmidas ou na aplicação de agentes de cura; com a proteção do material contra a exposição prolongada a sulfatos, por meio da utilização de revestimentos ou materiais de proteção contra a água subterrânea ou outros ambientes agressivos; e por fim, implementando de um rigoroso controle de qualidade durante a produção e colocação do material, minimizando a formação de etringita tardia, isso inclui a utilização de cimentos de alta qualidade, a

realização de testes de resistência e a garantia de que o compósito é colocado e curado adequadamente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo possui como objetivo detalhar o sequenciamento das atividades realizadas, a fim de obter os resultados almejados no presente trabalho. Dessa forma, ao decorrer deste serão apresentados os materiais e os métodos utilizados para realização dos ensaios laboratoriais. Através da Figura 2, é possível visualizar o fluxograma do processo experimental, elencando todos os passos realizados durante a metodologia, para, por fim, chegar aos resultados.



Fonte: O Autor (2023)

3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL

A realização da análise comparativa do uso de aditivos biocidas em compósitos cimentícios com o compósito de referência, se deu por meio da produção de corpos de prova, posteriormente submetidos a ensaios em seu estado fresco e em seu estado endurecido. A partir desses ensaios, foi possível realizar a verificação das propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios, bem como a realização de uma análise da manifestação microbiana nos compósitos cimentícios com e sem aditivo biocida.

3.1.1 Parâmetros fixados

Para obter-se uma maior padronização e organização dos ensaios, foi necessária a determinação de parâmetros fixados, a fim de facilitar, posteriormente, a realização da análise dos resultados. Os traços dos compósitos cimentícios foram definidos a partir dos estudos realizados por Alum *et al* (2008) e Voicu *et al* (2022), nos quais foram encontrados 0,5 de relação aglomerante-água e de 1:3 (cimento-agregado) em massa, para argamassa de revestimento. Para atingir uma consistência que apresentasse uma boa trabalhabilidade, no momento da moldagem dos corpos de prova foi necessária a adição de 1,46g (0,042% em relação a massa de cimento) de aditivo superplastificante no traço de referência e, por consequência, nos demais traços.

3.1.2 Variáveis controláveis

As variáveis controláveis têm por finalidade a análise dos diferentes retornos das variáveis de resposta. Foram definidas variáveis controláveis para o estudo em questão, sendo os teores de adição óxido de zinco e de cinza de casca de arroz, adicionados as misturas. Esses traços foram baseados nos estudos elencados na Tabela 1, anteriormente apresentada, principalmente se tratando dos estudos de Voicu *et al* (2022) e Alum *et al* (2008), visto que possuem aditivos biocidas e minerais que mais se assemelham aos demais estudos.

A partir da análise dos traços desses estudos, os componentes para o teor de cinzas de casca de arroz, óxido de zinco, foram definidos como as seguintes variáveis de adição:

- a) 0% ZnO + 0% CCA (compósito cimentício de referência);
- b) 5% ZnO + 10% CCA;
- c) 10% ZnO + 10% CCA;
- d) 15% ZnO + 10% CCA;
- e) 20% ZnO + 10% CCA.

3.1.3 Quantitativo de materiais

Foram desenvolvidos traços baseados nos estudos elencados de Voicu *et al* (2022) e Alum *et al* (2008), conforme a Tabela 2, em que constam os traços que foram utilizados nos corpos de prova. Levando em consideração que foi feita a adição do ZnO e das CCA, e que necessita de três amostras de cada traço para o ensaio de índice de consistência, para o ensaio de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão, ensaio de absorção de água por capilaridade e de água total e para o ensaio visual de crescimento microbiano.

Tabela 2 – Traços definidos

	Cimento	Areia	A/C	ZnO	CCA
Traços	1	3	0,5	0%	0%
				5%	10%
				10%	
				15%	
				20%	

Fontes: Alum *et al* (2008) e Voicu *et al* (2022).

A partir dos dados foi possível concluir que foram necessárias uma massa total de água de 9,5 kg, de ZnO de 1,7 kg, 1,4 kg de cinzas de casca de arroz e, por fim, 17,3 kg de cimento e 52 kg de areia, para esses valores totais foram considerados 10% de perdas. A Tabela 3 apresenta os quantitativos dos elementos da argamassa separados por traço, para facilitar a sua realização em laboratório, também considerando os 10% em possíveis perdas de materiais no momento das moldagens dos corpos de prova e dos ensaios.

Tabela 3 – Quantitativo de material por traço

Traços	Cimento (kg)	Areia (kg)	Água (kg)	ZnO (kg)	CCA (kg)	Superplastificante (Kg)
REF	3,465	10,395	1,7325	0	0	0,00146
C5	3,465	10,395	1,7325	0,17325	0,3465	0,00146
C10	3,465	10,395	1,7325	0,3465	0,3465	0,00146
C15	3,465	10,395	1,7325	0,51975	0,3465	0,00146
C20	3,465	10,395	1,7325	0,693	0,3465	0,00146

Fontes: O Autor (2023).

3.1.4 Variáveis de resposta

Os resultados das variáveis de resposta são provenientes dos ensaios laboratoriais realizados, sendo eles: a resistência à compressão, resistência à tração na flexão, absorção de água total, absorção de água por capilaridade e a análise visual do crescimento de microrganismos nas amostras.

3.2 LIMITAÇÕES

Visto a impossibilidade de outra forma de análise do crescimento microbiano, devido à falta de recursos, o trabalho restringiu-se à avaliação do uso de óxido de zinco (ZnO) como aditivo biocida. E, dessa forma, se limitou a verificação de forma visual, com o intuito avaliar as propriedades biocidas dos compósitos cimentícios.

Bem como, a necessidade de adição de superplastificante às misturas, desde o traço de referência. O momento de moldagem se mostrou impraticável, devido a sua baixa trabalhabilidade, para tal, foi adicionado superplastificante e, dessa forma, fixando-o nas demais amostras com ZnO.

3.3 MATERIAIS

Os materiais utilizados na pesquisa realizada no Laboratório de Materiais de Construção e no Laboratório de Tecnologia Construtiva (LBTEC) da Universidade de Caxias do Sul (UCS) foram divididos em quatro categorias: aglomerante, agregado miúdo, água e aditivos e adições.

3.3.1 Aglomerante

O aglomerante utilizado na produção dos compósitos cimentícios foi escolhido pela sua adequação à NBR 16697 (ABNT, 2018), que se trata dos requisitos para o recebimento de cimento Portland; e pela sua disponibilidade no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade de Caxias do Sul. O escolhido foi o cimento Portland CP V-ARI RS, pois possui alta resistência inicial, resistência a sulfatos, além de possuir determinadas características elencadas nos Quadros 3 e 4.

Quadro 3 – Requisitos físicos e mecânicos do Cimento Portland CP V-ARI RS

Sigla	Classe	Finura Resíduo na peneira 75 μm (%)	Tempo de início de pega (min)	Expansibilidade a quente (mm)	Resistência a compressão			
					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
CP V	ARI	$\leq 6,0$	≥ 60	≤ 5	$\geq 14,0$	$\geq 24,0$	$\geq 34,0$	-

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018) - Adaptado

Quadro 4 – Determinações facultativas do Cimento Portland CP V-ARI RS

Sigla	Classe	Tempo de fim de pega (min)	Expansibilidade a frio (mm)	Resistência à compressão aos 91 dias (Pa)	Anidrido carbônico (CO ₂)
CP V	ARI	≤ 600	≤ 5	-	$\leq 5,5$

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018) – Adaptado

A fim de realizar a caracterização do cimento, presumiu-se que as especificações da embalagem estavam informadas corretamente pelo fabricante. Realizou-se o ensaio para a definição da massa específica do cimento, regulamentada pela ABNT NBR NM 52:2009, obtendo-se os resultados médios de 49,97g para a massa inicial, 0,39g de massa retida e 0,79% de porcentagem retida, respeitando os intervalos da normativa pertinente, conforme o Apêndice A, que mostra os resultados integralmente.

3.3.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado para a composição dos compósitos cimentícios foi a areia, disponível no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LENC) da Universidade de Caxias Do Sul. É considerado agregado miúdo todo aquele material que possui grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 0,075 mm (ABNT NBR 7211, 2022).

A fim de caracterizar o agregado miúdo, foram realizados ensaios previamente normatizados pela norma NBR 17054 (ABNT, 2022). Nestes ensaios se faz necessária a coleta de três amostras, realizando a sua secagem durante 24h, ou até a massa constante; colocar uma das massas nas peneiras, promovendo a sua agitação mecânica durante um minuto, no máximo, reservando o material residual da sua superfície; realizando, dessa forma, em todas as peneiras de diferentes gramaturas; após, proceder com o peneiramento da segunda e terceira amostras; o material retido em cada uma das peneiras devem ser tabelados e comparados, atentando para que as porcentagens de ambas as amostras não excedam os 4%; e, a partir desses resultados, determina-se o módulo de finura do agregado, conforme dados apresentados na Tabela 4.

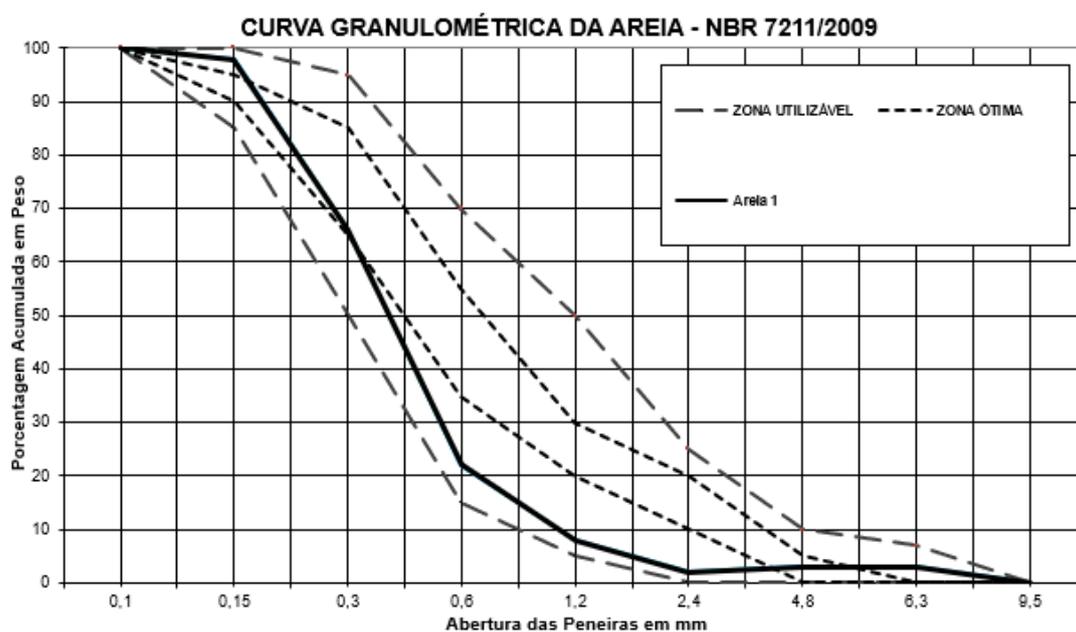
Tabela 4 - Granulometria da areia

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa retida (g)						(% retida média	(% retida acumulada média
	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3			
	Massa (g)	(%) retida	Massa (g)	(%) retida	Massa (g)	(%) retida		
25	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
12,5	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	2,39	0	0,99	0	0	0
6,3	1,03	0	2,22	0	1,37	0	0	1
4,8	1,46	0	4,82	1	2,16	0	1	1
2,4	3,47	1	5,56	1	4,45	1	1	2
1,2	3,37	1	4,13	1	3,72	1	1	3
0,6	23,8	5	26,67	5	26,61	5	5	8
0,3	265,66	53	284,49	57	316,86	64	58	66
0,15	191,42	38	160,1	32	134,29	27	32	98
Fundo	9,2	2	7,48	2	7,75	2	2	100
Total	499,41	100	497,86	100	498,2	100	100	279
Perda (%)	0,17		0,43		0,36			

Fonte: O Autor (2023)

A areia é classificada como areia fina, conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022), demonstrado na curva granulométrica da Figura 3. Suas propriedades, como, massa específica média, massa unitária média, módulo de finura e dimensão máxima característica, encontram-se na Tabela 5, especificadas pelas normas NBR NR 52 (ABNT, 2003), NBR 16972 (ABNT, 2021) e NBR 17054 (ABNT, 2022).

Figura 3 – Curva granulométrica



Fonte: O Autor (2023)

Tabela 5 - Propriedades da areia

Propriedade	Resultado
Massa unitária média (g/cm ³)	0,84
Massa específica média (g/cm ³)	2,595
Módulo de finura	1,79
Dimensão máxima característica (DMC) (mm)	1,2

Fonte: O Autor (2023)

3.3.3 Água

A água utilizada na produção dos compósitos cimentícios foi fornecida através do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE), responsável pelo tratamento e abastecimento público de água na cidade de Caxias do Sul (RS).

3.3.4 Aditivos e adições

3.3.4.1 Óxido de Zinco

O óxido de zinco utilizado foi o encontrado disponível no mercado local, apresentado como um pó branco, fórmula ZnO. As propriedades do óxido de zinco estão elencadas na Tabela 6, conforme dados do fabricante Brasile Química (2023).

Tabela 6 - Propriedades do Óxido de Zinco

Propriedade	Resultado
Teor de Zinco (%)	99
Retenção # 325 % máxima (%)	0,50
Umidade (%)	0,25

Fonte: Adaptado de Brasile Química (2023).

3.3.4.2 Cinza de casca de arroz

A cinza de casca de arroz utilizada foi a disponível no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade de Caxias do Sul, apresentado como um pó cinza claro, sem odor, com concentração de sílica acima de 92%. As propriedades da cinza de casca de arroz estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Propriedades da cinza de casca de arroz

Propriedade	Resultado
Massa específica (g/cm ³)	2,16
Densidade aparente (kg/m ³)	550 - 600
Área superficial (m ² /g)	10 a 20
Tamanho médio de partícula (µm)	< 8,0

Fonte: Adaptado de Silcca Nobre (2021).

3.3.4.3 Superplastificante

O superplastificante utilizado foi disponibilizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade de Caxias do Sul e é comercializado com o nome de Sika ViscoCrete® 6090 HW, possui um aspecto líquido de cor castanha, sua composição é uma solução de policarboxilato em meio aquoso e suas propriedades encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Propriedades do Superplastificante

Propriedade	Resultado
Densidade (kg/l)	1,08 ± 0,02
pH	3,7 ± 1,0

Fonte: Adaptado de Sika S.A. (2022).

3.4 MÉTODOS DE ENSAIO

O presente estudo realizou ensaios das propriedades dos compósitos cimentícios no estado fresco, de índice de consistência, e no estado endurecido, de resistência à tração na flexão, resistência à compressão e absorção de água por capilaridade parcial e total. Além disso, no estado endurecido, foi realizado análise visual das propriedades biocidas dos compósitos cimentícios.

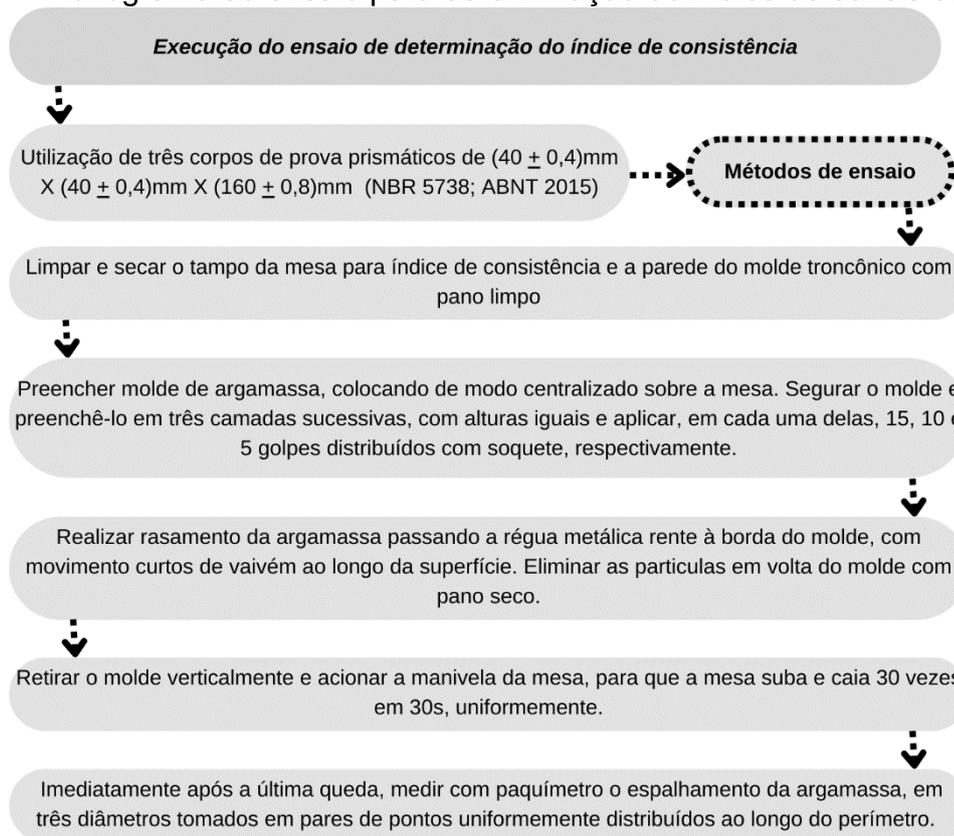
3.4.1 Compósitos cimentícios no estado fresco

Os ensaios no estado fresco para caracterização dos compósitos cimentícios de referência e dos compósitos cimentícios com aditivo biocida se deram por meio do índice de consistência; realizando três ensaios por traço.

3.4.1.1 Ensaio índice de consistência

Para a realização dos ensaios de índice de consistência foi tomada a NBR 13276 (ABNT, 2016) como norma de referência. Conforme fluxograma apresentado na Figura 4, é possível verificar as etapas do ensaio. Foram realizados os ensaios com três amostras de cada tipo dos compósitos cimentícios e preparadas as amostras como demanda da norma NBR 16541 (ABNT, 2016).

Figura 4 - Fluxograma do ensaio para determinação do índice de consistência



Fonte: Adaptado de NBR 13276 (ABNT, 2016).

3.4.2 Compósitos cimentícios no estado endurecido

Realização de ensaios de resistência à tração na flexão, de resistência à compressão, da análise visual das propriedades biocidas dos compósitos cimentícios e absorção de água por capilaridade para todas as amostragens, a fim de realizar a caracterização dos compósitos cimentícios. A idade dos corpos de prova para os ensaios de resistência foram de 7, 28 e 56 dias, enquanto os ensaios de absorção foram com a idade mínima de 28 dias; realizando três ensaios por traço. E para a análise visual foram utilizadas as idades de 7, 28 e 64 dias, com três corpos de prova por traço.

3.4.2.1 Ensaio de resistência à tração na flexão

Para os ensaios de resistência à tração na flexão foi tomada como base a NBR 13279 (ABNT, 2005), segundo o fluxograma da Figura 5. Para isso foram

utilizados três corpos de prova prismáticos em cada traço, previamente determinado; realizando três ensaios por traço.

Os corpos de prova devem ser posicionados nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio, de modo que a face rasada não fique em contato com os dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga. Posteriormente é realizada a aplicação da carga de (50 ± 10) N/s, até a ruptura do corpo-de-prova NBR 13279 (ABNT, 2005). Dessa forma é possível calcular a resistência à tração na flexão, conforme a Equação 5.

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad (5)$$

Em que R_f equivale à resistência à tração na flexão (MPa), F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N) e L a distância entre os suportes (mm). Importante destacar que se o desvio absoluto máximo for superior a 0,3 MPa, desconsiderar-se o valor mais discrepante, devendo ser calculado uma nova média, caso haja persistência dessa diferenciação o ensaio deve ser refeito (NBR 13279; ABNT, 2005).

3.4.2.2 Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram determinados conforme fluxograma da Figura 5, na idade de 7, 28 e 56 dias. Em que deve ser utilizado as seis metades resultantes dos corpos de prova do ensaio de flexão, posicionando-as no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio. Depois dessa etapa, deve ser aplicado uma carga de (500 ± 50) N/s até a ruptura do corpo-de-prova (NBR 13279; ABNT 2005). A fim de calcular a resistência à compressão foi utilizado a Equação 6; realizando três ensaios por traço.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (6)$$

Sendo:

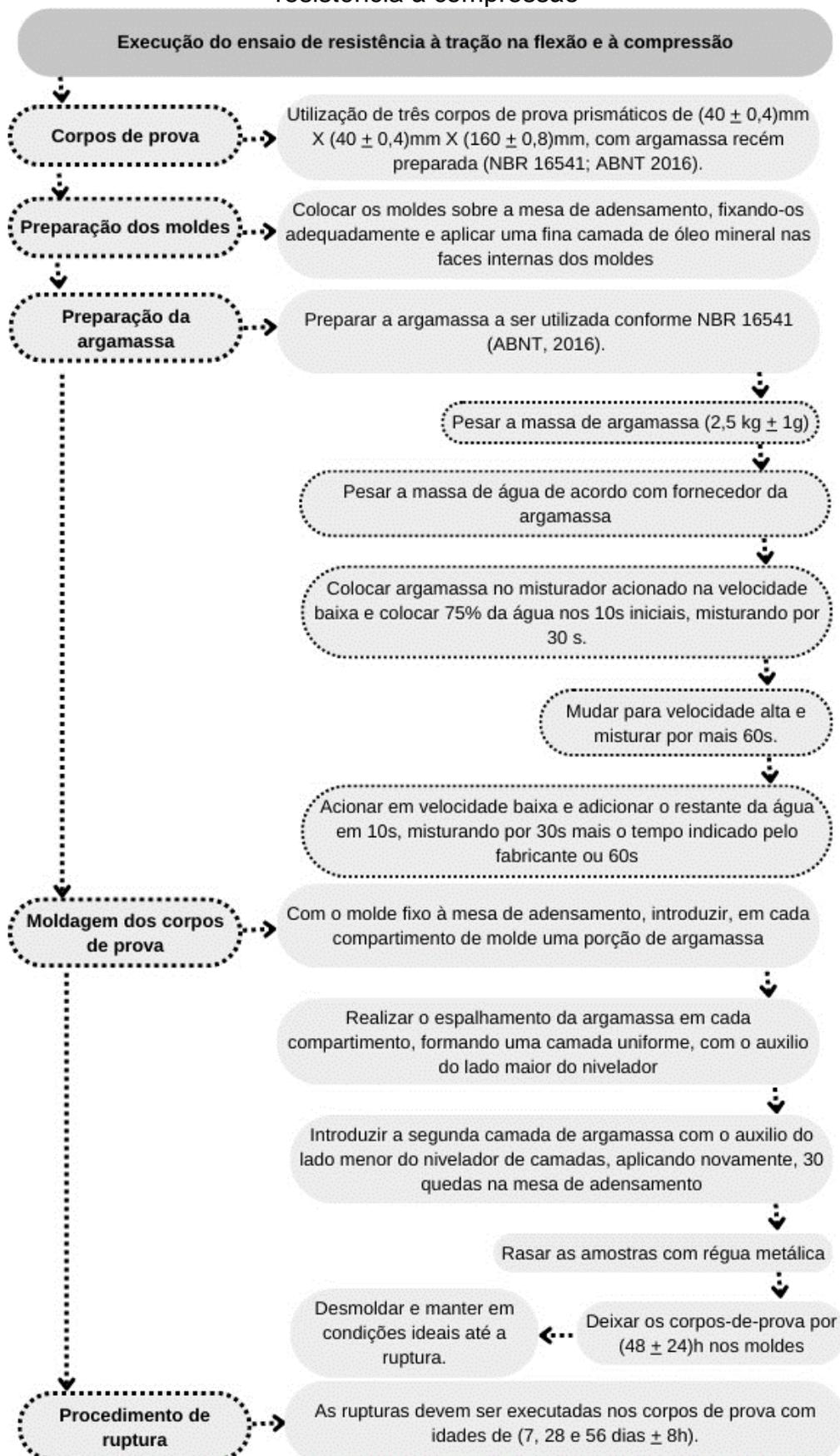
R_c - Resistência à compressão em MPa;

F_c - Carga máxima aplicada em N;

1600 representa a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga (mm^2).

É importante destacar que, caso o desvio absoluto máximo seja superior a 0,5 MPa, é necessário desconsiderar o valor mais discrepante e calcular uma nova média, caso haja reincidência, se faz a exclusão do segundo valor mais discrepante, persistindo, se faz obrigatória a repetição do ensaio (NBR 13279; ABNT 2005).

Figura 5 - Fluxograma do ensaio de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão



Fonte: Adaptado de NBR 13279 (ABNT, 2005).

3.4.2.3 Ensaio de absorção de água por capilaridade

Para a realização do ensaio de absorção de água por capilaridade foi utilizada a norma NBR 15259 (ABNT, 2005) como referência, segundo o fluxograma criado é possível visualizar estas etapas (Figura 6), na idade mínima de 28 dias dos corpos de prova. Para o cálculo da absorção de água por capilaridade, utiliza-se da Equação 7, e para o coeficiente de capilaridade utilizou-se da Equação 8.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (7)$$

Onde:

A_t – Absorção de água por capilaridade, para cada tempo em g/cm²;

m_t – Massa do corpo-de-prova em cada tempo em gramas;

m_0 – Massa inicial do corpo-de-prova em gramas;

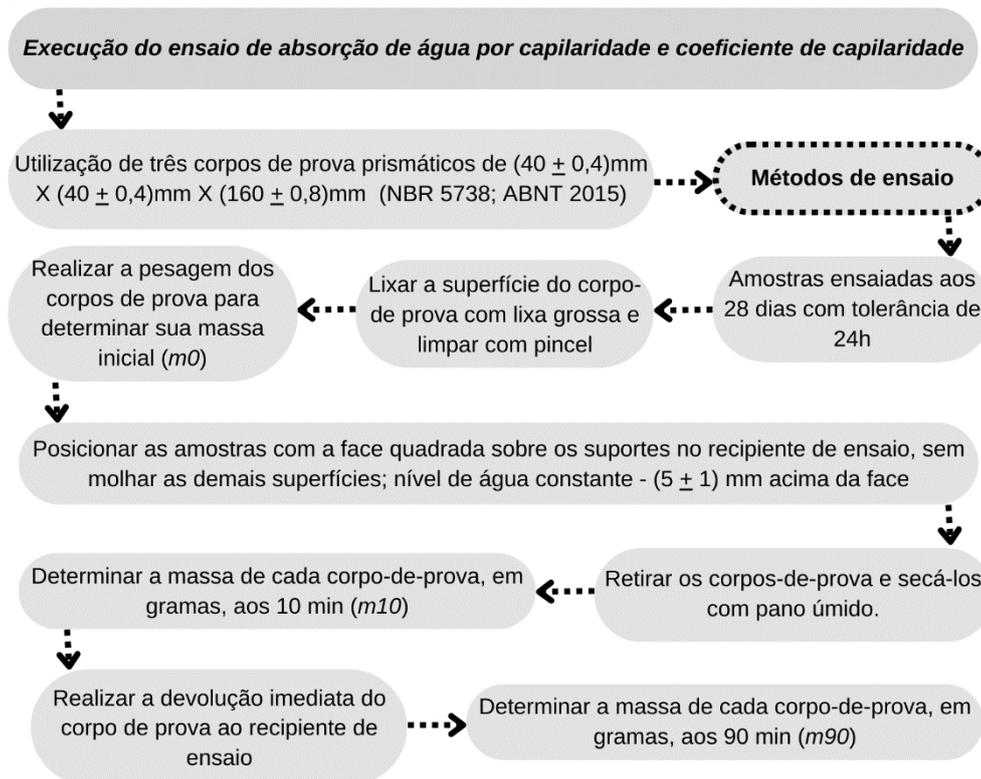
t – Tempo de 10 min e 90 min, em segundos;

16 – Área do corpo-de-prova em cm².

$$C = (m_{90} - m_{10}) \quad (8)$$

Em que C é o coeficiente de capilaridade, em unidades de massa, e os itens m_{90} e m_{10} são as massas dos corpos de prova nos tempos de 90 e 10 minutos.

Figura 6 - Fluxograma do ensaio de absorção de água por capilaridade

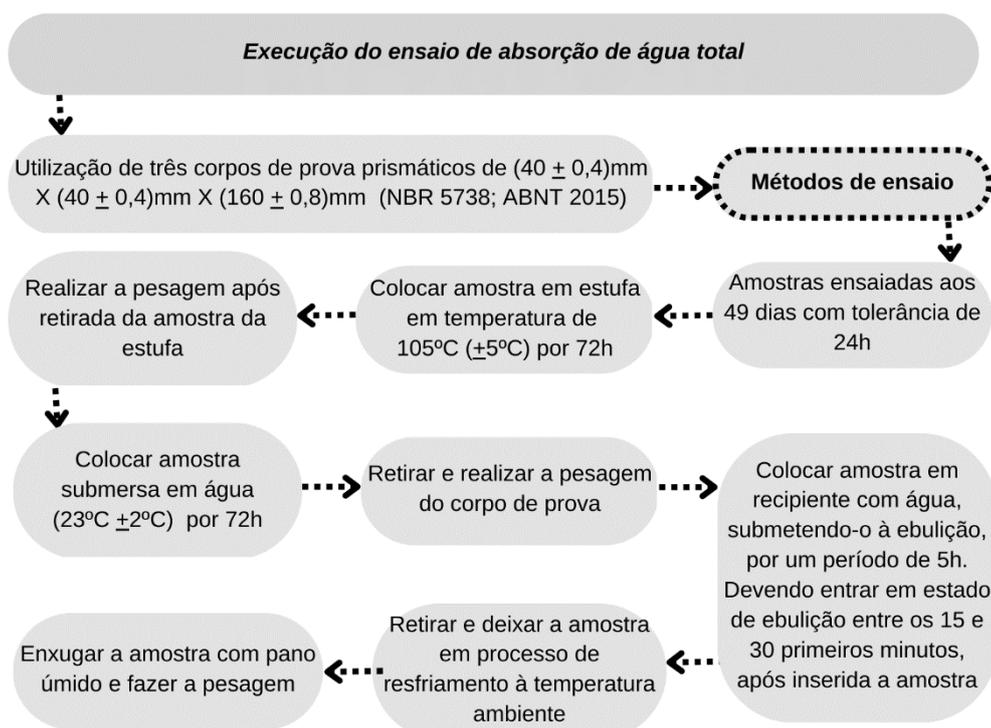


Fonte: Adaptado da NBR 15259 (ABNT, 2005).

3.4.2.4 Ensaio de absorção de água total

A NBR 9778 (ABNT, 2009), conforme fluxograma apresentado na Figura 7, foi utilizada para a realização do ensaio de absorção de água (A), em que amostras foram submersas em um tonel completado com água, com o intuito de que o auxílio da pressão exercida pela água, faça com que todos os vazios das amostras sejam preenchidos. Para tal, foram realizadas pesagens até chegar à constância de massa de 0,5 % (variação máxima). Para o cálculo da absorção de água, foi utilizada a Equação 9, e do índice de vazios, a Equação 10, de massa específica seca, saturada e real, as Equações 11, 12 e 13, respectivamente.

Figura 7 - Fluxograma do ensaio de absorção de água total



Fonte: Adaptado da NBR 9778 (ABNT, 2009).

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (9)$$

$$Iv = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (10)$$

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (11)$$

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (12)$$

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (13)$$

Sendo, m_{sat} a massa da amostra saturada em água, posterior a sua imersão e fervura, m_s a massa da amostra após seca em estufa e m_i a massa da amostra saturada imersa em água após a fervura.

3.4.2.5 Análise do crescimento microbiano

O crescimento microbiano foi avaliado através de uma análise visual, com o intuito de detectar movimentações relacionadas a proliferações de microrganismos, principalmente fungos e bolores, por serem visíveis a olho nu. Foram feitas imagens dos corpos de prova aos 7, 28 e 64 dias de cura, comparando-as, a fim de detectar alterações nos materiais expostos às intempéries.

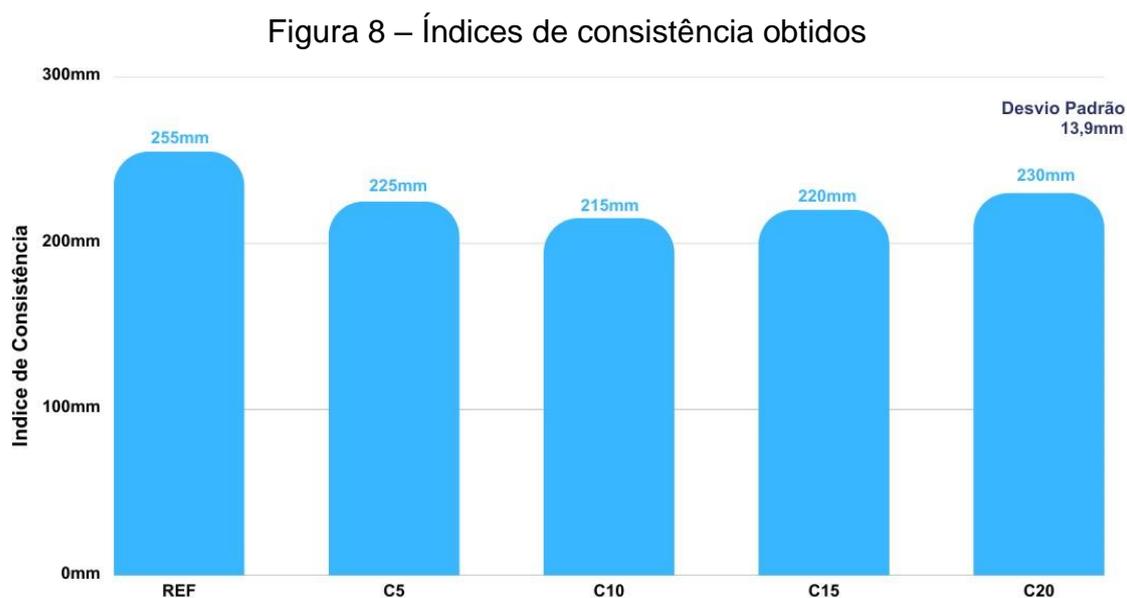
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos quanto à avaliação das propriedades dos compósitos cimentícios produzidas nos ensaios realizados no estado fresco e no estado endurecido, nas suas diferentes composições.

4.1 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

4.1.1 Trabalhabilidade

A Figura 8 ilustra os índices de consistência obtidos, além da adição do superplastificante nos traços fixados inicialmente.



Fonte: O Autor (2023)

Os dados demonstram que houve uma redução nos índices de consistência e, portanto, na trabalhabilidade dos compósitos biocidas C5, C10, C15 e C20. Kawabata, Savastano Junior e Sousa-Coutinho (2012) avaliam que a alta concentração de finos na mistura resulta na necessidade de se utilizar aditivos, devido ao aumento da viscosidade, diminuição da fluidez e, por consequência, da sua trabalhabilidade, já que foram acrescentadas as cinzas de casca de arroz e o óxido de zinco à mistura. Nos testes realizados, verificou-se

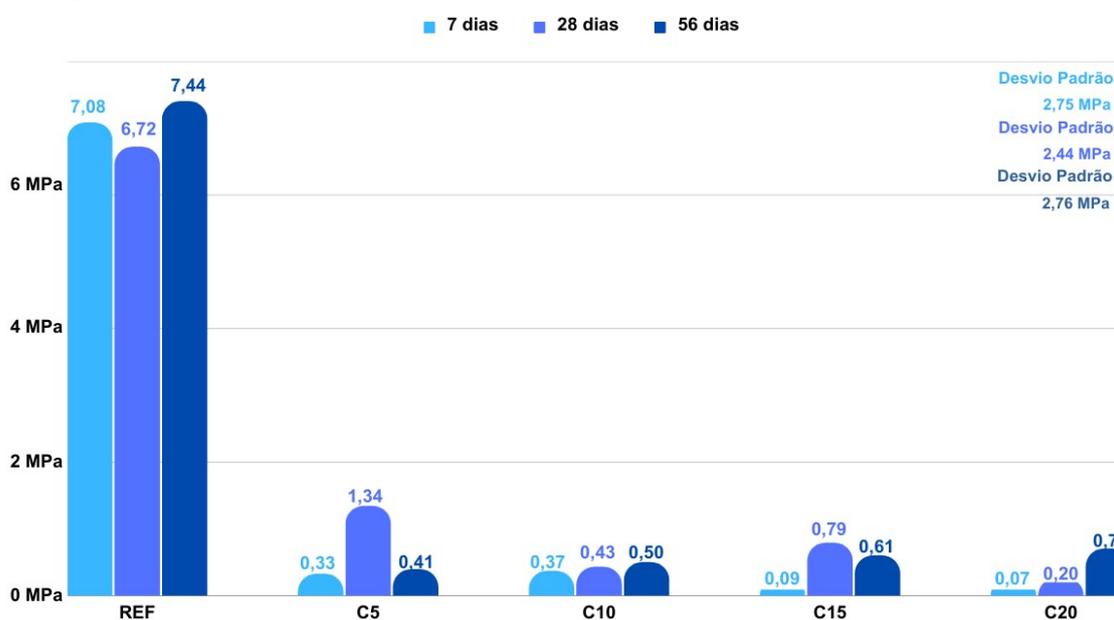
que quanto maior a adição das cinzas de casca de arroz e do óxido de zinco, maiores foram as dificuldades para moldar os corpos de prova, entretanto, após a adição do superplastificante os índices de consistência para todos os traços estudados se apresentaram dentro da faixa preconizada pela norma.

4.2 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

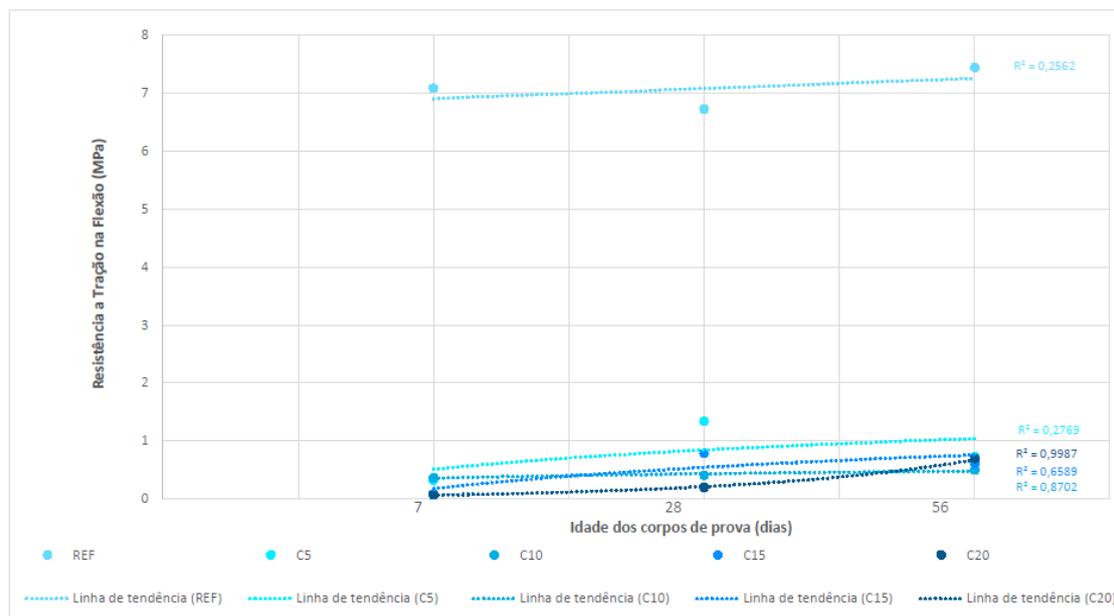
4.2.1 Resistência mecânica

Os dados obtidos em relação à resistência mecânica de tração na flexão estão demonstrados nas Figuras 9 e 10, em que apresentam os ensaios realizados aos 7, 28 e 56 dias de cura dos corpos de prova, para resistência a tração na flexão, gráficos de barras demonstrando resistência *versus* teor de ZnO, e resistência *versus* tempo de cura, respectivamente; o mesmo se aplica para compressão, com as Figuras 11 e 12. Em ambos os gráficos estão apresentados seus desvios padrão, conforme os tempos de cura do material.

Figura 9 – Ensaio de resistência a tração na flexão *versus* teor de ZnO



Fonte: O Autor (2023)

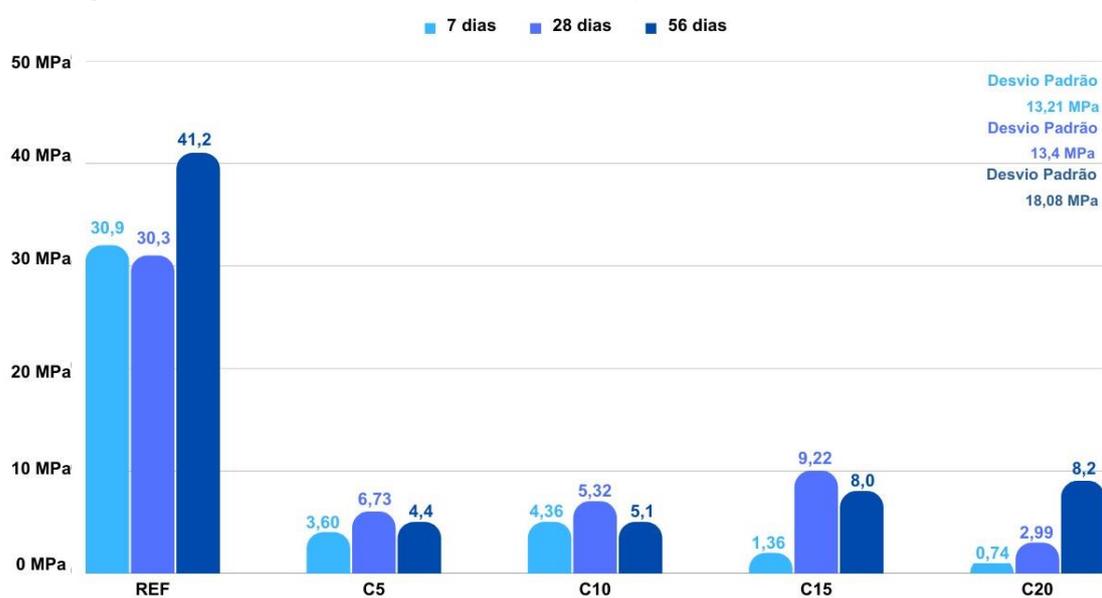
Figura 10 – Ensaio de resistência a tração na flexão *versus* tempo de cura

Fonte: O Autor (2023)

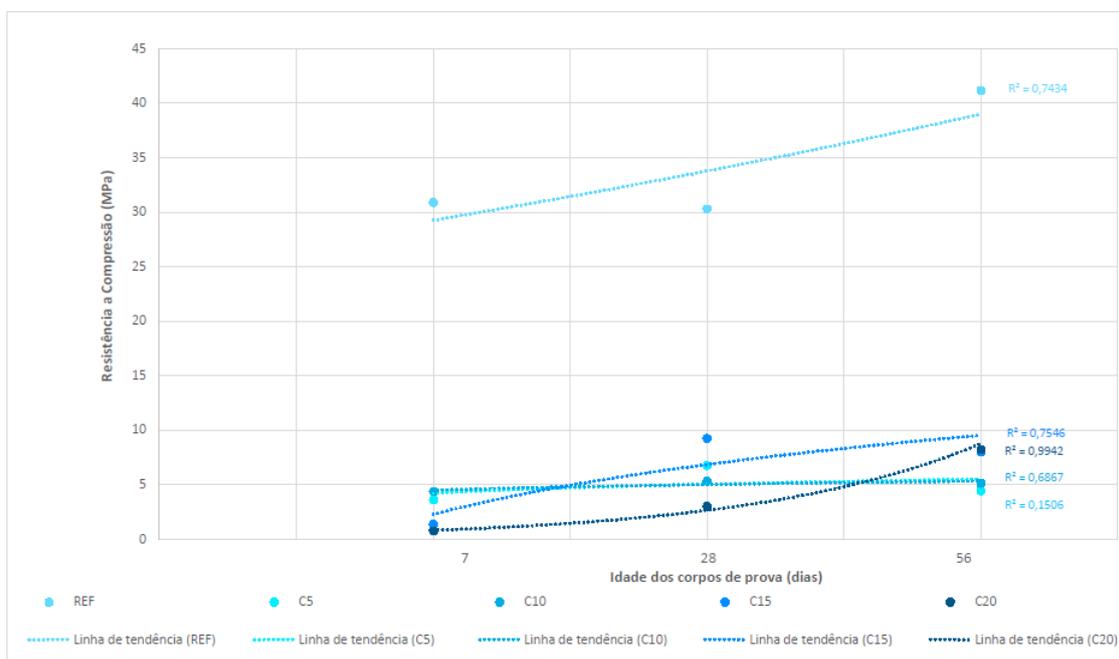
Para um melhor entendimento do comportamento das amostras estudadas, foram avaliadas as resistências entre o traço de referência, REF, e os demais traços contendo os aditivos C5, C10, C15 e C20. No ensaio de resistência a tração na flexão, na idade de 7 dias, à medida que aumentava a quantidade de óxido contida na mistura observa-se uma perda de resistência, causada, possivelmente, pela umidade que se apresentou devido ao tempo de cura insuficiente e pela porosidade das amostras, causa da interação entre a água e o óxido de zinco, o que corrobora para sua perda de resistência, pela má formação da etringita. Os corpos de prova com 5% e 10% de ZnO romperam com maior facilidade, além disso, os que possuíam 15% e 20%, ainda mostraram presença de umidade e, em uma das três amostras, houve o rompimento aplicando apenas a força no manuseio do material para a colocação na prensa. Esses dados se associam ao estudo de Langaro *et al* (2010), que demonstrou uma perda de até 50% na resistência dos materiais na idade dos 7 dias. O Apêndice B, apresenta os dados dos ensaios de tração na flexão e de compressão, aos 7 dias, quando comparados aos traços de referência, comprovando os dados já evidenciados.

Aos 28 dias, foi possível observar uma tênue melhora na resistência dessas amostras, que pode ser explicada pelo maior tempo de cura que esses materiais foram submetidos (Apêndice C), ainda conforme Langaro *et al* (2010). E aos 56 dias, também se observou uma melhora nas resistências quanto a tração na flexão e compressão, devido ao aumento do tempo de cura, esses dados foram apresentados no Apêndice D. Todos esses resultados podem ser explicados pela cura insuficiente do material, devida a deficiência de hidratação que ocorreu durante as reações.

Figura 11 – Ensaio de resistência a compressão versus teor de ZnO



Fonte: O Autor (2023)

Figura 12 – Ensaio de resistência a compressão *versus* tempo de cura

Fonte: O Autor (2023)

Com os resultados de resistência mecânica a tração na flexão foi possível constatar uma diminuição de, aproximadamente, 95%, 94%, 98% e 99% aos 7 dias, 80%, 93%, 88% e 97% aos 28 dias e, 95%, 93%, 92% e 91% aos 56 dias, para os traços C5, C10, C15 e C20, respectivamente. Bem como nos resultados de resistência a compressão, em que houve uma queda expressiva de resistência, aproximadamente, 88%, 86%, 96% e 98% aos 7 dias, 79%, 82%, 70% e 90% aos 28 dias e, 89%, 88%, 81% e 80% aos 56 dias, para os traços C5, C10, C15 e C20, respectivamente. Com esses dados, tanto para tração na flexão, quanto para compressão, pôde-se concluir que houve uma alta perda de resistência quando comparado ao traço de referência devido à má formação da etringita, causada pela deficiência na hidratação do cimento, entretanto, ao passar dos dias, cresceu-se, gradativamente, já que foi dado o tempo hábil para esse corpo de prova passar por um período de cura adequado.

Após o desmolde dos corpos de prova, nas 48 horas, já foi possível observar algumas alterações nos componentes que continham teores de óxido de zinco, visto que demonstraram aspecto de umidade, conforme apresentado na Figura 13, em que mostra o mesmo corpo de prova com teor de 20%, aos 7 dias e aos 28 dias, indicando um retardo no seu processo de cura, que melhorou

ao longo do tempo. Esse dado vai de encontro ao estudo realizado por Langaro et al (2010), em que evidencia que o zinco na forma de óxido corrobora para o atraso na pega desses materiais, já que, nas amostras que continham 15% de ZnO apresentou-se um tempo de cura total de 56h, enquanto a referência, demorou 6 horas e 50 minutos.

Figura 13 – Deficiência no tempo de cura dos corpos de prova com 20% de ZnO



Fonte: O Autor (2023)

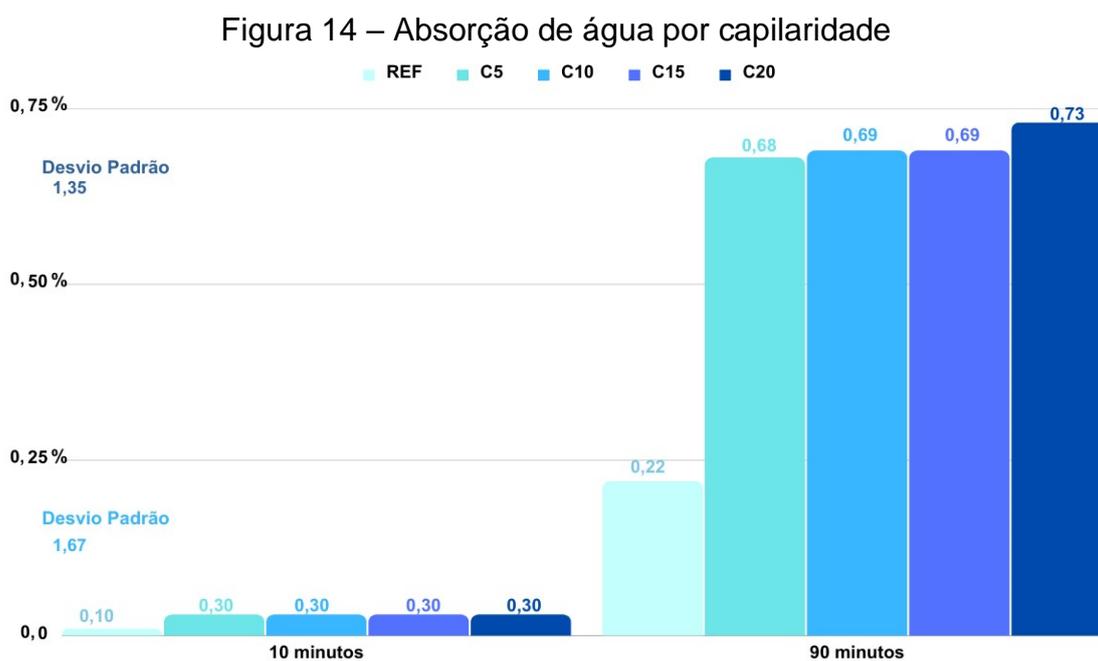
Assim como explicado anteriormente, segundo Liu, S.; Ouyang, J.; Ren; J. (2020), a deficiência da hidratação do compósito é um problema que pode ter afetado o processo de cristalização dos grãos do cimento, e por consequência, a devida cura dos corpos de prova; a causa provável desse fenômeno é a reação entre o óxido de zinco e a água, formando o hidróxido de zinco ($\text{Zn(OH)}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{ZnO}$), responsável pela atividade antimicrobiana (ATKINS, JONES E LAVERMAN, 2018). Em suma, ao entrar em contato com a água o óxido de zinco

reage, sofrendo uma dissolução química, e essa reação impossibilita a hidratação imediata do cimento, o que gera a formação da etringita tardia, ocasionando as patologias anteriormente citadas.

Além disso, a alta concentração de finos na mistura pode ter contribuído para a fragilidade dos corpos de prova, o que pode ter agravado o problema. É importante realizar testes adicionais para entender melhor as causas do esfarelamento e encontrar soluções para evitá-lo no futuro.

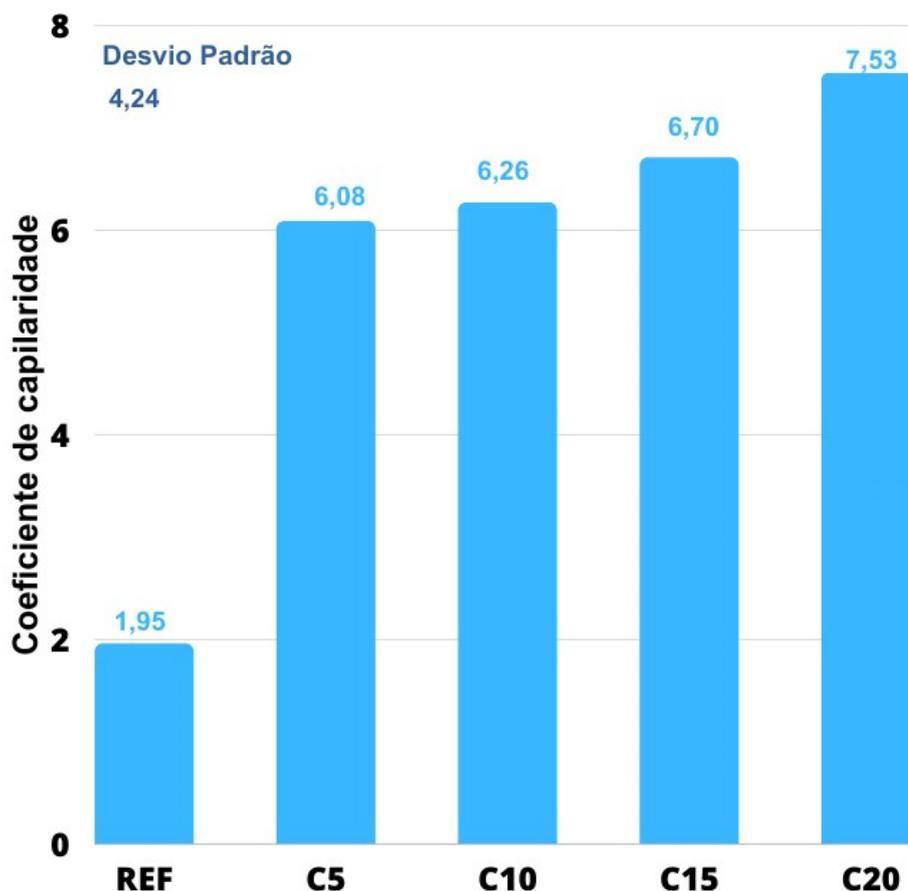
4.2.2 Absorção de água por capilaridade

Os resultados apresentados para a absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade estão expressos nas Figuras 14 e 15.



Fonte: O Autor (2023)

Figura 15 – Coeficiente de capilaridade



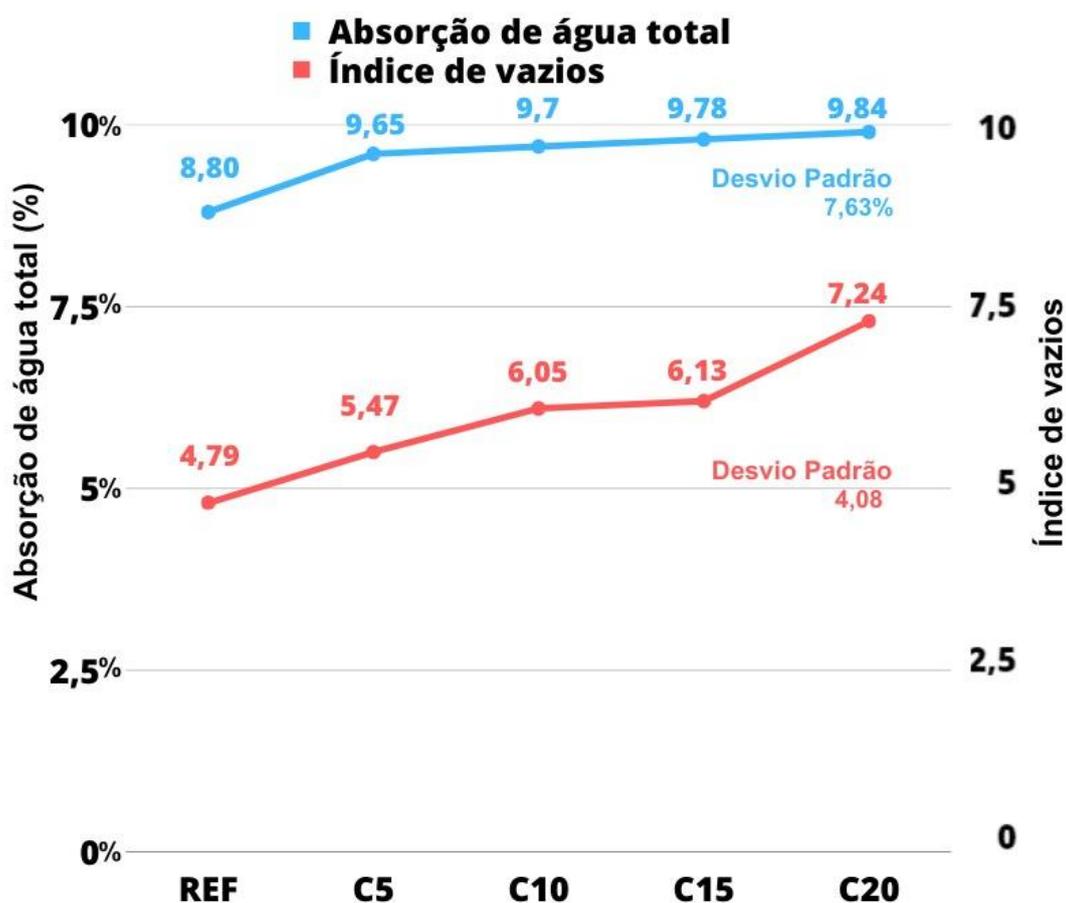
Fonte: O Autor (2023)

Para os traços de C5, C10, C15 e C20 foi observado aumento na absorção de água por capilaridade, de 3,10, 3,20, 3,40 e 3,80 vezes maior, respectivamente, quando comparados ao de referência. Esses dados mostram a influência que o óxido de zinco tem sob os resultados, visto que, quando houve a reação entre o ZnO e a água, aumentou o número de vazios e, por consequência, aumentou a sua porosidade, majorando o percentual de absorção.

4.2.3 Absorção de água total

Os resultados apresentados para a absorção de água total, índice de vazios, massa específica da amostra seca e da saturada, estão mostrados na Figura 16.

Figura 16 – Absorção de água total e índice de vazios



Fonte: O Autor (2023)

Para os traços C5, C10, C15 e C20 foi observado um leve aumento na absorção de água total e no índice de vazios presentes nas amostras, quando comparadas a de referência. Esses dados vêm ao encontro com os resultados já constatados, pois, esse aumento do número de vazios conforme há a incorporação de óxido de zinco à mistura, elucida a reação que ocorre entre o óxido de zinco e a água, permitindo um acréscimo no número de poros dos corpos de prova e, conseqüentemente, proporcionando uma maior absorção de água para o preenchimento desses vazios.

4.2.4 Crescimento microbiano

As imagens apresentadas na Figuras 17, 18 e 19, demonstram os corpos de prova nas idades de 7, 28 e 64 dias, respectivamente, em ordem crescente de adição de ZnO.

Figura 17 – Corpos de prova aos 7 dias



Fonte: O Autor (2023)

Figura 18 – Corpos de prova aos 28 dias



Fonte: O Autor (2023)

Figura 19 – Corpos de prova aos 64 dias



Fonte: O Autor (2023)

Com as Figuras 17, 18 e 19, é possível observar que os corpos de prova que possuíam teores de óxido de zinco, aos 7 dias, se mostraram úmidos, superficialmente; e após maior tempo de cura, ou seja, aos 28 e 64 dias,

desenvolveram melhora no percentual de umidade. O crescimento microbiano mostrou pouca alteração a olho nu mesmo no traço de referência, devido ao curto tempo de exposição de 64 dias. Contudo, os corpos de prova com o aditivo, por serem mais porosos, e conseqüentemente, terem um ambiente mais propício para proliferação de fungos e bactérias, deveriam apresentar um crescimento mais acelerado desses microrganismos, caso não houvessem aditivos biocidas presentes em sua composição, mostrando um ponto positivo para a análise, visto que não apresentaram nenhum crescimento visível no tempo estudado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando solucionar os objetivos desse trabalho, foram desenvolvidas as seguintes considerações:

No estado fresco, apresentou índices de consistência dentro do preconizado pela norma pertinente. Enquanto no estado endurecido, detectou um retardo no processo de hidratação dos compósitos, sendo necessário maior tempo de cura desses materiais, por isso, tratando-se da resistência a compressão dos traços com adição de óxido de zinco e cinzas de casca de arroz, obteve-se uma queda significativa na sua resistência ao comparar com a referência. Da mesma forma, quando se tratando da resistência a tração na flexão, que também apresentou uma perda de resistência. Logo, formou-se um compósito cimentício altamente frágil, com a possibilidade de apresentar manifestações patológicas futuras, tornando-o atualmente inviável para implementação no mercado. Além disso, constatou-se que, dado o tempo de exposição do corpo de prova ao ambiente, de aproximadamente nove semanas, através da análise visual não foi possível detectar nenhum crescimento microbiano importante nos traços desenvolvidos, já que os corpos de prova não apresentaram colônias de microrganismos visíveis a olho nu.

Independentemente dos resultados insatisfatórios, o estudo mostrou a necessidade de se aprofundar no assunto sobre aditivos biocidas, visando sua aplicação no mercado, principalmente de construção civil; para que, mais à frente, seja possível a construção de estruturas com maior durabilidade e resistência a exposição a ambientes agressivos.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para contribuir no desenvolvimento de trabalho futuros na área estudada, seguem algumas sugestões:

- a) Visto que o óxido de zinco é um material que apresenta propriedades biocidas importantes, em diversos estudos, não somente na área da construção civil, fica como sugestão avaliar diferentes concentrações de óxido de zinco em compósitos cimentícios, buscando outros

- traços e verificando suas propriedades no estado fresco, endurecido e de crescimento bacteriano, visando a sua viabilidade no mercado;
- b) Outros materiais biocidas também podem ser utilizados, como o molibdato de prata, óxido de cobre, tungstato de sódio ou brometo de sódio, dentre outros, que se mostraram suscetíveis à inibição microbiana já testados em diferentes estudos. Podendo ou não apresentar melhora na resistência e durabilidade do compósito cimentício;
 - c) Aumentar o tempo de exposição a ambientes agressivos do compósito cimentício, para permitir o efetivo crescimento dos organismos às faces do material. Além de utilizar outros métodos de identificação do desenvolvimento microbiano, não só por meio de análise visual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACURIO, Umeres et al. **Elaboración de concreto antibacterial mediante ensayos de laboratorio con el fin de evaluar la durabilidad y reducir costos de mantenimiento en estructuras de sistemas de alcantarillado en Lima Metropolitana**. Lima, 2019

ADAMS, Laura K.; LYON, Delina Y.; ALVAREZ, Pedro J.J.. **Comparative ecotoxicity of nanoscale TiO₂, SiO₂, and ZnO water suspensions**. Water Research, [S.L.], v. 40, n. 19, p. 3527-3532, nov. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.08.004>.

ANANDARAJ, S. et al. **Effects of using white flour, zinc oxide and zinc ash as an admixture in mortar and concrete**. Materials Today: Proceedings, [S.L.], v. 52, p. 1788-1793, 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.447>.

ALUM, A. et al. **Cement-based biocide coatings for controlling algal growth in water distribution canals**. Cement and Concrete Composites, v. 30, n. 9, p. 839–847, out. 2008.

ALVES, A. L. **Avaliação do desempenho de argamassas com aditivo bactericida**. Santa Catarina, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C125**: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. West Conshohocken, 2013

ARAÚJO, Carlos Eduardo S.B de et al. **BIOCONCRETO. Diálogos Interdisciplinares**, [s. l], v. 8, n. 2, p. 1-11, maio 2019. Disponível em: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/dialogos/article/view/686/680>. Acesso em: 21 out. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 11172**: Aglomerantes de origem mineral - Terminologia. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16972**: Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NBR NM 52:2009**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2001.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. **Princípios da Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Oxford: Bookman, 2018. 1094 p.

BEZERRA, Izabelle M. T. et al. **Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 15, p. 639-645, 14 mar. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xBdfQfDCZTTpBgSt9yMvdD/?lang=pt&format=pdf#:~:text=A%20cinza%20produzida%20pela%20queima,utilizada%20tamb%C3%A9m%20como%20material%20pozol%C3%A2nico>. Acesso em: 20 set. 2022.

CARASEK, Helena. Patologia das Argamassas de Revestimento. In: ISAIA, Geraldo C.. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2017. Cap. 28

COLPAS, Flávia Tavares et al. **Incorporação de lodo e areia de ETE em blocos para construção civil: avaliação do crescimento de fungos**. Revista Dae, [S.L.], v. 59, n. 186, p. 23-28, 2011. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.075>.

CORREIA, Marcelo. **Manifestações patológicas na construção - Implantação de programas de manutenção preventiva e corretiva em estruturas de concreto armado**. Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas – CINPAR. João Pessoa, 2013

FONSECA, GUSTAVO CELSO da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil [manuscrito]: uma abordagem epistêmica**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

GOMES, Camila Lacerda; POGGIALI, Flávia Spitale Jacques; AZEVEDO, Rogério Cabral de. **Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica**. *Matéria* (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 24, n. 2, p. 1-14, maio 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0673>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/CBN49DCPXbDZGg4S8L5QH6y/?lang=pt>. Acesso em: 22 out. 2022.

HOPPE FILHO, J. et al.. **Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte I): Índice de atividade pozolânica (IAP) com cal, difração de raios-X (DRX), termogravimetria (TG/DTG) e Chapelle modificado**. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 22, n. 3, p. e11872, 2017.

KAWABATA, Celso Yoji; SAVASTANO JUNIOR, Holmer; SOUSA-COUTINHO, Joana. **Rice husk derived waste materials as partial cement replacement in lightweight concrete**. *Ciência e Agrotecnologia*, [S.L.], v. 36, n. 5, p. 567-578, out. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542012000500010>.

KHALAF, Mohammed A. et al. **Effect of nano zinc oxide and silica on mechanical, fluid transport and radiation attenuation properties of steel furnace slag heavyweight concrete**. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 274, p. 121785, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121785>

KLAPISZEWSKA, Izabela; et al. Production of antibacterial cement composites containing ZnO/lignin and ZnO–SiO₂/lignin hybrid admixtures. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 124, p. 104250, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104250>.

LANGARO, Eloise Ap.; et al. **Influência do óxido de zinco nos tempos de pega e nas resistências à compressão do cimento portland e do cimento aluminoso**. *Entac* 2010, Canela, v. 1, n. 1, p. 1-7, 6 out. 2010. Disponível em: https://silo.tips/queue/influencia-do-oxido-de-zinco-nos-tempos-de-pegas-e-nas-resistencias-a-compressao?&queue_id=1&v=1681672284&u=MjgwNDozMGM6MTczMjoyZjAwOjk4MzA6YzZcwOjhmOWM6ODg4OQ==. Acesso em: 16 abr. 23.

LI, Xiaoying; LI, Jun; LU, Zhongyuan; CHEN, Jiakun. **Properties and hydration mechanism of cement pastes in presence of nano-ZnO**. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 289, p. 123080, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123080>.

LISBOA, Ederval de S. et al. **Materiais de Construção: Concreto e Argamassa**. 2 Ed – Porto Alegre, 2017.

LIU, S.; OUYANG, J.; REN, J. **Mechanism of calcination modification of phosphogypsum and its effect on the hydration properties of phosphogypsum-based supersulfated cement.** Construction and Building Materials, v. 243, p 1-12, 2020.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto.** 5 Ed. – São Paulo, 2016.

OLIVEIRA, Maximiliano Ramos; OLIVEIRA, Tayrielle Nunes; ARAÚJO, Selma Carrijo. **PATOLOGIAS NAS EDIFICAÇÕES, SEU DIAGNÓSTICO, E SUAS CAUSAS.** IV Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar II Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar, Mineiros, v. 1, n. , p. 1-13, maio 2019.

POUPELLOZ, E.; GAUFFINET, S.; NONAT, A. **Study of nucleation and growth processes of ettringite in diluted conditions.** Cement and Concrete Research, v. 127, p. 1-10, 2020.

QIU, Liangsheng et al. **Antimicrobial concrete for smart and durable infrastructures: A review.** Construction and Building Materials, p. 260. China. 2020.

QUÍMICA, Brasile. **Óxido de Zinco 99%. São Paulo, 2023.** Disponível em: <https://www.basilequimica.com.br/produtos/oxido-de-zinco-99/>. Acesso em: 30 de maio. 2023.

SIKA S.A. **Sika® ViscoCrete®-6090 CF. Osasco, 2023.** Disponível em: <https://bra.sika.com/dms/getdocument.get/fc5ff69f-a5ba-4b1e-8669-7893e58e9cf3/sika-viscocrete-6090cf.pdf>. Acesso em: 30 de maio. 2023.

TOUMELA, M. et al. **Biodegradation of lignin in a compost environment: a review** *Bioresource Technology*, Volume 72, issue 2, April 2000, Pages 169-183. 15 p. Disponível em < <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09608524>> A Acesso em: 12 out. 2022

VAQUERO, J.M. et al. **Development and experimental validation of an overlay mortar with biocide activity.** *Sciencedirect: Cement and Concrete Composites*, Barcelona, v. 74, n. 0958-9465, p. 109-119, 16 set. 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095894651630508X?casa_tk=WMcZJL20doAAAAA:YgE9xMAOZsR3fA3aHsxihq0jAOhSabB7q2VP9WfrhH9apvRUyrgwcFyRwfmDIAUd1Xs8vGW9I9A. Acesso em: 20 set. 2022.

VICENTINI, Denice S.; SMANIA, Arthur; LARANJEIRA, Mauro C.M.. **Chitosan/poly (vinyl alcohol) films containing ZnO nanoparticles and plasticizers.** *Materials* ,<http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2009.01.026>.

VISALI, C.; PRIYA, A.K.; DHARMARAJ, R. **Utilization of ecofriendly self-cleaning concrete using zinc oxide and polypropylene fibre.** *Materials Today: Proceedings*, [S.L.], v. 37, p. 1083-1086, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.309>.

VOICU, Georgeta; TIUCA, Georgiana-Andreea; BADANOIU, Alina-Ioana; HOLBAN, Alina-Maria. **Nano and mesoscopic SiO₂ and ZnO powders to modulate hydration, hardening and antibacterial properties of portland cements.** Journal Of Building Engineering, [S.L.], v. 57, p. 104862, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104862>.

**APÊNDICE A – RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DA MASSA
ESPECÍFICA DO CIMENTO PORTLAND CP V-ARI RS**

Ensaio	Massa inicial (g)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)
Amostra 1	49,89	0,87	1,7
Amostra 2	50,01	0,11	0,2
Amostra 3	50,00	0,2	0,4

**APÊNDICE B – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO E
DE COMPRESSÃO NA IDADE DE 7 DIAS**

Traços	Resistência a Tração na Flexão (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)
REF	7,080	30,982
C5	0,329	3,599
C10	0,366	4,362
C15	0,098	1,357
C20	0,069	0,742
Desvio Padrão	2,77	13,07

**APÊNDICE C – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO E
DE COMPRESSÃO NA IDADE DE 28 DIAS**

Traços	Resistência a Tração na Flexão (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)
REF	6,672	30,314
C5	1,344	18,775
C10	0,431	5,314
C15	0,788	9,220
C20	0,203	2,994
Desvio Padrão	2,42	15,2

**APÊNDICE D – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO E
DE COMPRESSÃO NA IDADE DE 56 DIAS**

Traços	Resistência a Tração na Flexão (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)
REF	7,440	41,200
C5	0,410	4,400
C10	0,500	5,100
C15	0,610	8,000
C20	0,700	8,200
Desvio Padrão	2,76	18,08