

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

RAFAEL BERNARDO PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM ADITIVO
BIOCIDA**

**CAXIAS DO SUL
2021**

RAFAEL BERNARDO PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM ADITIVO
BIOCIDA**

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 Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Vinício Cecconello

**CAXIAS DO SUL
2021**

RESUMO

PEREIRA, Rafael Bernardo. **Avaliação do desempenho de compósitos cimentícios com aditivo biocida**. 2021. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2021.

Apesar de compósitos cimentícios terem variadas aplicações, ainda se verificam limitações em suas propriedades, dentre elas, a dificuldade dos compósitos em relação a biodeterioração, que é deterioração causada por microrganismos. Um dos meios estudados para melhorar essa propriedade é por meio de adições e aditivos biocidas. O trabalho avaliou as propriedades no estado fresco e endurecido de compósitos cimentícios com adição do aditivo biocida óxido de zinco. Ainda foi adicionado na mistura cinza de casca de arroz (CCA), com a intenção de melhorar as propriedades dos compósitos gerados. Foram desenvolvidos 5 traços, um de referência, e os outros com 20% de adição de óxido de zinco fixado e variando o teor da CCA de 0%, 10%, 20% e 30%. Para cada parte de cimento, foram utilizadas 0,5 partes de areia fina, no traço de referência foi utilizada uma relação a/c de 0,45 e nos demais traços 0,5, ainda, nos traços com 10%, 20% e 30% de incorporação de CCA foi necessário a utilização de aditivo superplastificante para gerar uma trabalhabilidade satisfatória. Para avaliar o desempenho dos compósitos cimentícios, no estado fresco, foi realizado o ensaio do índice de consistência e no estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão, absorção de água total, absorção de água por capilaridade e análise visual das propriedades bactericida dos compósitos cimentícios. Verificou-se uma grande fragilidade nas amostras com incorporação do aditivo biocida, variando a queda de resistência à compressão entre 95,36% e 97,81% nos 7 dias, 91,92% e 94,37% nos 28 dias e 60,75% e 75,55% nos 56 dias. Variou a queda de resistência à tração na flexão entre 99,01% e 99,46% nos 7 dias, 98,17% e 99,25% nos 28 dias e 96,79% e 97,96% nos 56 dias. Os compósitos com adição do óxido de zinco apresentaram uma alta absorção de água por capilaridade e absorção de água total quando comparado com a referência. A análise visual não demonstrou grande variação, provavelmente devido ao baixo tempo que ficou exposto ao tempo (6 semanas). O estudo verificou que não há viabilidade no uso dos traços desenvolvidos, sendo necessário mais estudos para que possa ser utilizado esse aditivo no mercado de construção civil.

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

ABSTRACT

PEREIRA, Rafael Bernardo. **Avaliação do desempenho de compósitos cimentícios com aditivo biocida**. 2021. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2021.

Although cementitious composites have several applications, there are still limitations in their properties, including the difficulty of composites in relation to biodeterioration, which is deterioration caused by microorganisms. One of the ways studied to improve this property is through additions and biocidal additives. The work evaluated the properties in the fresh and hardened state of cementitious composites with incorporation of the zinc oxide biocide additive. It was also added to the gray rice husk mixture (CCA), with the intention of improving the properties of the composites generated. Five traces were developed, one as a reference, and the others with 20% addition of fixed zinc oxide and varying the CCA content from 0%, 10%, 20% and 30%. For each part of cement, 0.5 parts of fine sand were used, in the reference mix a w/c ratio of 0.45 was used and in the other mixes 0.5, also in the mixes with 10%, 20% and 30% of CCA incorporation required the use of a superplasticizer additive to generate satisfactory workability. To evaluate the performance of the mortars, in the fresh state, the consistency index test was carried out and in the hardened state the tests were carried out: compressive strength, flexural tensile strength, total water absorption, capillary water absorption and analysis were performed. Visual analysis of the bactericidal properties of cementitious composites. There was great fragility in the samples with incorporation of the biocide additive, varying the drop in compressive strength between 95.36% and 97.81% in 7 days, 91.92% and 94.37% in 28 and 60 days, 75% and 75.55% in 56 days. The decrease in flexural tensile strength varied between 99.01% and 99.46% in 7 days, 98.17% and 99.25% in 28 days and 96.79% and 97.96% in 56 days. The composites with the addition of zinc oxide showed a high capillary water absorption and total water absorption when compared to the reference. Visual analysis did not show great variation, probably due to the short time it was exposed to the weather (6 weeks). The study found that there is no feasibility in using the traits developed, requiring further studies so that this additive can be used in the civil construction market.

Keywords: Biocidal additives. Bactericidal additives. Microorganisms. Biodeterioration. Zinc oxide.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, Marlene, por todo o apoio, amor, motivação, carinho, dedicação e por sempre acreditar em mim.

Ao meu namorado, Abner, por todo amor, apoio, compreensão e ajuda.

A minha amiga, Amanda, pela parceria e ajuda durante a realização desse trabalho e de toda a graduação.

Ao meu Orientador Ms. Vinício Cecconello, pela excelente orientação e por todos os ensinamentos trocados durante o trabalho.

E de um modo geral, a todos que, mesmo não citados, me acompanham desde o início da graduação, por toda força, ajuda, companheirismo e compreensão, principalmente nesses últimos momentos, muito obrigado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático de compósitos biocidas	22
Figura 2 - Argamassas com aditivos de compostos individuais	26
Figura 3 - Argamassas com aditivos de compostos binários e terciários	26
Figura 4 - Fluxograma do processo experimental	31
Figura 6 – Agregado miúdo	36
Figura 7 - Óxido de zinco	37
Figura 8 - Cinza de Casca de Arroz	37
Figura 9 - Superplastificante.....	38
Figura 10 - Fluxograma do ensaio para determinação do índice de consistência.....	39
Figura 11 - Fluxograma do ensaio de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão.....	40
Figura 12 - Fluxograma do ensaio de absorção de água por capilaridade.....	42
Figura 13 - Resultado médio da trabalhabilidade dos compósitos cimentícios	45
Figura 14 - Resistência média a compressão	46
Figura 15 - Resistência média à tração na flexão	47
Figura 14 - Resistência média a compressão dos traços com aditivos	49
Figura 15 - Resistência média à tração na flexão dos traços com aditivos	51
Figura 16 - Absorção de água por capilaridade.....	52
Figura 17 - Absorção de água total	53
Figura 18 - Amostras expostas ao tempo (semanas 1, 2 e 3).....	54
Figura 19 - Amostras expostas ao tempo (semanas 4, 5 e 6).....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos tipos de argamassa.....	15
Quadro 2 - Descrição dos aditivos de Alves (2014)	25
Quadro 3 - Informações gerais sobre os produtos antimicrobianos avaliados	27
Quadro 4 - Normas para caracterização do agregado	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações gerais sobre as formulações biocidas.....	27
Tabela 2 - Dosagem das formulações biocidas monocomponentes	28
Tabela 3 - Traços	32
Tabela 4 - Granulometria da areia.....	35
Tabela 5 - Propriedades da areia.....	35
Tabela 6 - Propriedades do Óxido de Zinco.....	36
Tabela 7 - Propriedades da cinza de casca de arroz	37
Tabela 8 - Propriedades do superplastificante	38
Tabela 9 - Resultados médios de resistência à compressão	46
Tabela 10 - Resultados médios de resistência à tração na flexão	47
Tabela 9 - Resultados médios de resistência à compressão dos traços com aditivos	49
Tabela 10 - Resultados médios de resistência à tração na flexão dos traços com aditivos	50
Tabela 11 - Resultados médios de absorção de água por capilaridade.....	52
Tabela 12 - Absorção de água total	53

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CCA	Cinza de Casca de Arroz
LBTEC	Laboratório de Tecnologia Construtiva
LENC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
RS	Rio Grande de Sul
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
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
pH	Grau de acidez ou alcalinidade
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	14
1.3	DELINEAMENTO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	ARGAMASSA	15
2.2	ADITIVOS E ADIÇÕES	16
2.2.1	Aditivos	17
2.2.1.1	Redutor de água – Plastificante	17
2.2.1.2	Alta redução de água – Superplastificante tipo I	18
2.2.1.3	Alta redução de água – Superplastificante tipo II	18
2.2.1.4	Incorporador de ar	18
2.2.1.5	Acelerador de pega	18
2.2.1.6	Acelerador de resistência	19
2.2.1.7	Retardador de pega.....	19
2.2.1.8	Aditivos especiais	19
2.2.2	Adições minerais	19
2.2.2.1	Materiais Pozolânicos.....	20
2.2.2.2	Material Cimentante	20
2.2.2.3	Material Fíler	21
2.3	ADITIVOS ANTIBACTERIANOS	21
2.3.1	Mecanismos bactericidas	22
2.3.1.1	Mecanismos antimicrobianos de agentes antimicrobianos inorgânicos	23
2.3.1.2	Mecanismos antimicrobianos de agentes antimicrobianos orgânicos	24
2.4	COMPÓSITOS COM ADITIVOS BIOCIDAS	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31

3.1	PROGRAMA EXPERIMENTAL	31
3.2	VARIÁVEIS DO ESTUDO	32
3.2.1	Parâmetros fixados	32
3.2.2	Variáveis controláveis.....	32
3.2.3	Variáveis de resposta.....	33
3.3	LIMITAÇÕES.....	33
3.4	MATERIAIS	33
3.4.1	Aglomerante.....	34
3.4.2	Agregado miúdo	34
3.4.3	Água	36
3.4.4	Aditivos e adições	36
3.4.4.1	Óxido de Zinco	36
3.4.4.2	Cinza de casca de arroz.....	37
3.4.4.3	Superplastificante	38
3.5	MÉTODOS DE ENSAIO	38
3.5.1	Compósitos cimentícios no estado fresco.....	39
3.5.1.1	Ensaio índice de consistência (<i>flow table</i>).....	39
3.5.2	Compósitos cimentícios no estado endurecido	39
3.5.2.1	Ensaio de resistência à tração na flexão	40
3.5.2.2	Ensaio de resistência à compressão.....	41
3.5.2.3	Ensaio de absorção de água por capilaridade	42
3.5.2.4	Ensaio de absorção de água total	43
3.6	QUANTITATIVO DE ENSAIOS	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	44
4.1.1	Trabalhabilidade	44
4.2	PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO	45
4.2.1	Resistência mecânica	45
4.2.1.1	Resistência à compressão entre REF e TZnO	46
4.2.1.2	Resistência à tração na flexão entre REF e TZnO	47

4.2.1.3	Análise das propriedades mecânicas entre REF e TZnO.....	48
4.2.1.4	Resistência à compressão entre traços com aditivos.....	49
4.2.1.5	Resistência à tração na flexão entre os traços com aditivos	50
4.2.2	Absorção de água por capilaridade	51
4.2.3	Absorção de água total	53
4.2.4	Análise visual das propriedades biocidas	54
5	CONCLUSÕES	56
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Compósitos cimentícios são materiais de construção que possuem variadas aplicações, podendo ser utilizadas para o assentamento de blocos, rejuntamento de cerâmicas e revestimento, por exemplo. Porém, existem limitações em compósitos tradicionais, como a resistência mecânica, porosidade e durabilidade. Para resolver esses problemas, é comum o uso de aditivos e/ou adições para melhorar suas propriedades e reduzir suas deficiências (LISBOA et al, 2017).

Quando utilizado como revestimento possui a função de proteger a edificação de agentes externos como pluviosidade e agentes agressivos, como bactérias. E quando usado como rejunte, deve impedir a proliferação de microrganismos, absorção de umidade, entre outros.

Dentre as falhas ou problemas construtivos mais comuns em compósitos cimentícios, estão as fissuras, a presença de umidade e os problemas de biodeterioração. A biodeterioração é definida como o mecanismo de degradação gerado por microrganismos, que acarretam em aparência esteticamente indesejável e causam danos físicos e químicos às estruturas (PEREIRA, 2019).

A infiltração de microrganismos em compósitos cimentícios é um problema frequente em estruturas expostas a ambientes agressivos, o que gera a deterioração e corrosão dos elementos. A presença de fungos e bactérias em edificações é muito comum em locais com climas tropicais, devido ao alto teor de umidade presente nos componentes construídos, o que interfere na salubridade e habitabilidade da edificação (NBR 15575, 2013). Além disso, Beato Sobrinho (2008) ressalta a perda de 3% de massa em blocos de concreto expostas ao ácido nítrico, formado por bactérias nitrificantes, enfatizando a decomposição por microrganismos que pode ocorrer em materiais de construção.

Uma possível solução para esses problemas seria com a utilização de aditivos biocidas, visto a importância de encontrar novos métodos para que não ocorram manifestações patológicas provenientes de microrganismos.

O trabalho apresentado é um estudo para analisar compósitos cimentícios com propriedades biocidas a partir da adição do aditivo óxido de zinco (ZnO), que de acordo com Alum et al. (2008) é um material já usado como biocida em outras áreas, mas que ainda necessita de estudo dentro da construção civil. Além disso, procurou-se verificar a eficácia de aditivos biocidas em compósitos cimentícios, avaliar as

propriedades mecânicas do compósito gerado com a incorporação do aditivo na sua mistura e comparar o crescimento de bactérias em compósitos tradicionais e em compósitos com aditivo biocida.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o desempenho de compósitos cimentícios com a adição de ZnO como aditivo biocida.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Avaliar as propriedades no estado fresco de compósitos cimentícios com e sem adições.
- b) Avaliar as propriedades no estado endurecido de compósitos cimentícios com e sem adições.
- c) Comparar o crescimento de bactérias 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 caráter experimental, com pesquisa bibliográfica, realizada a partir de fontes como livros e artigos científicos. Seguido pela definição dos métodos e materiais que foram utilizados. Realizada a moldagem dos corpos de prova e

posteriormente realizado os ensaios de propriedades mecânicas e avaliação no tempo, e por fim, realizada a avaliação dos resultados obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordadas as características dos compósitos cimentícios, e as influências desses com o meio; sobre os impactos da adição de aditivos e adições em compósitos cimentícios; sobre aditivos biocidas e sobre o comportamento de compósitos cimentícios com aditivos biocidas.

2.1 ARGAMASSA

Argamassa é definida pela NBR 13281 (ABNT, 2005) como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, que pode ou não conter aditivos, podendo ser dosada *in loco* ou na indústria (argamassa industrializada). Ainda, argamassa pode ser dividida em 6 tipos, sendo eles argamassa para assentamento, argamassa para revestimento de paredes e tetos, argamassa de uso geral, argamassa para reboco, argamassa decorativa em camada fina e argamassa decorativa em monocamada. O Quadro 1 resume os tipos de argamassa.

Quadro 1 - Resumo dos tipos de argamassa

(continua)

Tipo de argamassa	Definição
argamassa para assentamento	argamassa para assentamento em alvenaria de vedação: indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento, com função de vedação.
	argamassa para assentamento em alvenaria de estrutural: indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento, com função estrutural.
	argamassa para complementação da alvenaria (encunhamento): indicada para fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes.
argamassa para revestimento de paredes e tetos	argamassa para revestimento interno: indicada para revestimento de ambientes internos, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).

(conclusão)

argamassa para revestimento de paredes e tetos	argamassa para revestimento externo: indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo.
argamassa de uso geral	indicada para assentar alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.
argamassa para reboco	indicada para cobertura de emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento; também denominada massa fina.
argamassa decorativa em camada fina	indicada para revestimentos com fins decorativos, em camada fina.
argamassa decorativa em monocamada	indicada para revestimento de achadas, muros e outros elementos de edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.

Fonte: adaptado de NBR 13281 (ABNT, 2005).

Além dessas argamassas definidas pela norma, existem pesquisas para desenvolver novos materiais de construção. Como exemplo podemos citar as argamassas especiais, que com o uso de aditivos e/ou adições melhoram propriedades específicas das mesmas.

2.2 ADITIVOS E ADIÇÕES

Atualmente, os aditivos e as adições, são elementos de grande importância dentro da construção civil, devido a sua capacidade de proporcionar a argamassa e/ou ao concreto, propriedades especiais, podendo ser elas focadas em melhorar a qualidade do produto ou diminuir os seus pontos fracos. Atualmente os seguimentos mais comuns dos aditivos são para melhorar a trabalhabilidade, resistência, compacidade, durabilidade, bombeamento, fluidez, ou até mesmo diminuir a permeabilidade, a retração, o calor de hidratação, o tempo de pega e a absorção de água de compósitos cimentícios (LISBOA et al, 2017).

A NBR 11768 (ABNT, 2011) destaca que a utilização de aditivos e adições requer cuidados, como a conservação do produto no ambiente em que será armazenado, a validade dele, o momento certo da aplicação, a forma de se colocar o produto e a dose exata. Pois a má utilização dos aditivos ou adições, podem acarretar em problemas como a não ocorrência das reações de hidratação do cimento.

Aditivo pode ser definido como um produto incorporado a compósitos cimentícios, que faz aparecer ou reforçar certas características (BAUER, 2019).

Adição, de acordo, com a NBR 11172 (ABNT, 1990), é um produto de origem mineral que é adicionado em cimentos, argamassas e concretos, para alterar suas características. Já a norma americana ASTM C 125 define aditivo/adição como qualquer material, diferente de água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras, que é utilizado misturado no concreto ou argamassa.

2.2.1 Aditivos

Conforme a NBR 11768 (ABNT, 2011), os aditivos podem ser classificados em aditivo redutor de água/plastificante, aditivo retardador de pega, aditivo de alta redução de água/superplastificante tipo I, aditivo de alta redução de água/superplastificante tipo II, aditivo incorporador de ar, aditivo acelerador de resistência e aditivo acelerador de pega. Além dos aditivos citados, existem também os denominados aditivos especiais.

2.2.1.1 Redutor de água – Plastificante

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), aditivo redutor de água/plastificante deve, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, reduzir o conteúdo de água do concreto, modificar a consistência do concreto, sem alterar a quantidade de água, aumentando o abatimento e fluidez ou produzir ambos os efeitos simultaneamente. Bauer (2019), destaca que altas temperaturas do concreto e do ambiente podem causar uma reação muito rápido, podendo prejudicar os benefícios do aditivo, e baixas temperaturas podem retardar a reação podendo retardar a pega e impossibilitar a desforma e/ou o acabamento no prazo esperado. Além disso, a qualidade da água de amassamento utilizada pode gerar ar incorporado ou retardo de pega no concreto o que pode prejudicar as resistências mecânicas. Ainda, a origem e a granulometria do agregado miúdo podem incorporar ar além do desejável, tornando o concreto mais áspero, segregável ou extremamente coeso.

2.2.1.2 Alta redução de água – Superplastificante tipo I

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), aditivo de alta redução de água ou superplastificante tipo I deve, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permitir elevada redução no conteúdo de água de um concreto, aumentar consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto, sem alterar a quantidade de água, ou produzir esses dois efeitos simultaneamente. Destaca-se que os cuidados seguidos devem ser os mesmos dos plastificantes.

2.2.1.3 Alta redução de água – Superplastificante tipo II

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), aditivo de alta redução de água ou superplastificante tipo II deve, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permitir elevadíssima redução no conteúdo de água de um concreto, aumentar consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto, sem alterar a quantidade de água, ou produzir esses dois efeitos simultaneamente. Destaca-se que os cuidados seguidos devem ser os mesmos dos plastificantes.

2.2.1.4 Incorporador de ar

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), aditivo incorporador de ar permite incorporar, durante o amassamento do concreto, uma quantidade controlada de pequenas bolhas de ar, uniformemente distribuídas, que permanecem no estado endurecido. Bauer (2019), destaca que há um teor máxima de ar incorporado para um dado tempo de mistura e que apesar de o concreto apresentar diversas melhorias como, uma maior facilidade no bombeamento, uma maior estanqueidade do concreto, aumentar a resistência à ação do gelo e degelo, deve-se cuidar da redução da resistência do concreto que acaba acontecendo.

2.2.1.5 Acelerador de pega

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), aditivo acelerador de pega diminui o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto.

E conforme Neville (2016), os aceleradores de pega, devem ser utilizados em temperaturas mais baixas, devido ao grande aumento da temperatura ocasionado pela liberação de calor do concreto, o que pode gerar fissuração.

2.2.1.6 Acelerador de resistência

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), aditivo acelerador de pega aumenta a taxa de desenvolvimento das resistências iniciais do concreto, com ou sem modificação do tempo de pega.

2.2.1.7 Retardador de pega

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), aditivo retardador de pega aumenta o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto. De acordo com Neville (2016), deve-se ter cuidado com a quantidade de aditivo utilizada, pois se em excesso, pode ocasionar a inibição total da pega do concreto.

2.2.1.8 Aditivos especiais

Além dos citados anteriormente, existem outros chamados aditivos especiais. Dentre eles, podemos citar: aditivos modificadores de viscosidade, aditivos redutores de permeabilidade capilar, aditivos retentores de água, aditivos aceleradores para concreto projetado, aditivo redutor de reação álcali-agregado, aditivos controladores de hidratação, aditivos expansores e aditivos para argamassa, entre outros (BAUER, 2019).

2.2.2 Adições minerais

São minerais insolúveis finamente moídos ou finos de origem, resultado de um processo industrial e/ou de material natural processado, que, quando adicionado na mistura do concreto em proporção adequada, traz melhoria no estado fresco e no estado endurecido. A eficiência da adição mineral depende do processo de obtenção,

da composição química, mineralogia, do grau de amorficidade, da granulometria, da quantidade utilizada e das condições de cura. As adições minerais podem ser classificadas em três grupos: pozolânico, material cimentante e fíler (BAUER, 2019).

2.2.2.1 Materiais Pozolânicos

A NBR 12653 (ABNT, 2014) classifica as pozolanas quanto a sua origem em natural e artificial. As adições que se enquadram neste grupo são: sílica ativa, cinza volante, cinza vulcânica, caulinita calcinada e cinza de casca de arroz (CCA).

Sílica ativa é produzida em fornos elétricos de fusão onde ocorre a redução do quartzo a silício pelo carbono em altas temperaturas. As características da sílica ativa, como cor, distribuição granulométrica e composição química, dependem do tipo de liga produzida, tipo de forno, composição química e dosagem das matérias-primas. A sílica ativa é composta principalmente de SiO_2 , com pequenas quantidades de alumina, ferro, cálcio, álcalis, carbono, entre outros (BAUER, 2019).

Cinza volante é uma pozolana artificial originada do resíduo finamente dividido ou granulado que resulta da combustão do carvão mineral de usinas termelétricas. Já cinza vulcânica é uma pozolana natural, de origem vulcânica, geralmente de caráter petrográfico ácido (65 % de SiO_2) ou de origem sedimentar. Ainda, caulinita calcinada é uma pozolana artificial obtida da calcinação de argilas cauliníticas. E por fim, cinza de casca de arroz é uma pozolana artificial decorrente do processo de queima e beneficiamento da casca de arroz, tendo um grande potencial para uso no concreto (BAUER, 2019).

2.2.2.2 Material Cimentante

De acordo com Bauer (2019), material cimentante são aqueles que não necessitam do hidróxido de cálcio para formar produto cimentante. A adição que se enquadra neste grupo é a escória granulada, um produto obtido pela fusão e arrefecimento da escória de ferro em um alto-forno, que produz um produto vítreo granulado que é seco e moído em um pó fino. Os elementos mais comuns são os óxidos de: cálcio, silício, alumínio e magnésio. E, menos comum, óxidos de ferro, manganês, titânio e enxofre.

2.2.2.3 Material Fíler

É uma adição mineral finamente moída inerte, onde se busca o efeito físico de empacotamento granulométrico e pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento. Os materiais *fíler* são originados de rochas calcária, granítica e basáltica. Destaca-se que concretos com essa adição podem exigir maior de água na mistura, mudança na reologia, diminuição da segregação e exsudação. Além disso, pode modificar o desempenho de aditivos plastificantes, superplastificantes e incorporadores de ar. No estado endurecido, ocorrem melhorias como diminuição de porosidade, de permeabilidade, do calor de hidratação e de eflorescências (BAUER, 2019).

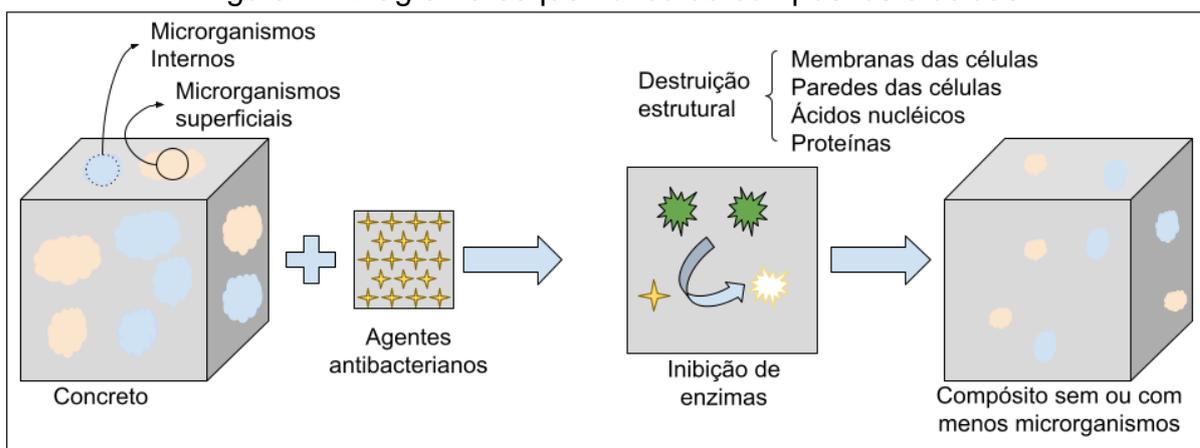
2.3 ADITIVOS ANTIBACTERIANOS

A entrada de microrganismos nos compósitos cimentícios é um problema frequente em estruturas expostas a ambientes agressivos, o que acaba gerando a deterioração e corrosão dos elementos (BEATO SOBRINHO, 2008). Destaca-se que a presença de fungos e bactérias em edificações é muito comum em locais de climas tropicais, devido ao alto teor de umidade presente nos componentes construídos e no meio ambiente, o que acaba interferindo na salubridade e habitabilidade da edificação, e de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), exigências como: conforto, higiene, durabilidade, estanqueidade, entre outras, devem ser atendidas.

Uma forma de evitar a entrada de microrganismos, é através de uma baixa permeabilidade. Mas, os compósitos cimentícios necessitam de propriedades mais duráveis, que possam evitar a penetração desses agentes agressivos. A adição de um aditivo biocida que possa inibir esses microrganismos, tanto na superfície quanto no interior dos compósitos cimentícios, mostra-se necessária (ACURIO; PEREA, 2019).

Conforme QIU et al (2020), na Figura 1, podemos verificar um esquema de como funcionam compósitos cimentícios biocidas, onde é visto que um compósito com microrganismos, tanto na sua superfície, quanto na parte interna, com a adição do agente biocida, permite, por meio da destruição estrutural dos microrganismos, resultar num compósito livre da presença de microrganismos ou na sua diminuição.

Figura 1 - Diagrama esquemático de compósitos biocidas



Fonte: Adaptado de QIU et al (2020)

Ainda, a propriedade antimicrobiana de concretos e argamassas com este fim, é atribuída à adição de agente antimicrobiano, nome dado aos aditivos antimicrobianos que facilitam o concreto e a argamassa a inibir e/ou matar vários micróbios. Os agentes antimicrobianos adicionados a concreto e argamassa podem ser classificados em agentes antimicrobianos inorgânicos e orgânicos com relação à sua composição química.

Destaca-se que, geralmente os agentes antimicrobianos inorgânicos têm maior vida útil e resistência a altas temperaturas, porém apresenta efeitos como toxicidade. Os agentes antimicrobianos orgânicos possuem efeito bactericida em curto prazo e amplo espectro de atividade de eliminação, mas sua resistência à temperatura é baixa. Além disso, a maioria dos biocidas orgânicos são ineficazes na remoção de micróbios e podem eventualmente levar ao desenvolvimento de mais micróbios nas superfícies afetadas, devido ao desenvolvimento de resistência dos microrganismos (QIU et al, 2020).

2.3.1 Mecanismos bactericidas

Conforme já destacado, os agentes antimicrobianos adicionados ao concreto e a argamassa podem ser classificados em agentes antimicrobianos inorgânicos e orgânicos com relação à sua composição química (QIU et al, 2020).

2.3.1.1 Mecanismos antimicrobianos de agentes antimicrobianos inorgânicos

Os mecanismos antimicrobianos dos agentes antibacterianos inorgânicos geralmente funcionam a partir da ação dos íons metálicos que se dissolvem gradualmente e reagem com os grupos funcionais. Tais grupos contêm nitrogênio sulfúrico existentes em proteínas e ácidos nucleicos de bactérias, que inibem ou inativam algumas enzimas necessárias e perturbam a estabilidade da célula (QIU et al, 2020).

Zeólitas são minerais aluminossilicatos cristalinos com poros de tamanho molecular uniforme que contêm íons metálicos, como cálcio e sódio, que podem ser trocados por metais antibacterianos como prata, cobre e íons de zinco para uso como agentes antibacterianos. Ainda, espécies reativas de oxigênio (EROs) são formas reduzidas de oxigênio que são energeticamente reativas. Dito isso, a ação do íon de prata liberado da zeólita no concreto e as EROs geradas a partir da prata são consideradas como os mecanismos de ação bactericida de zeólitas carregadas de prata, e foi relatado que tanto a prata ou as EROs interagem com enzimas e DNA por um mecanismo de liberação de elétrons para manter o efeito antibacteriano (HAILE, 2010).

Em estudo realizado sobre a utilização de íons de níquel para inibição do *Thiobacillus thiooxidans* que gera a corrosão do concreto por meio de ácido sulfúrico, percebeu-se que o níquel (Ni) não ataca as bactérias, mas se liga a uma enzima da mesma, exibindo efeito inibidor do crescimento. Os íons de níquel incorporados ao concreto se ligam à membrana plasmática e inibem a atividade do metabolismo de enxofre da bactéria, inibindo consequentemente o crescimento celular e a geração de ácido sulfúrico (NOGAMI et al, 1997).

Da mesma forma, o tungstênio (W) exerce seu efeito antimicrobiano sobre as bactérias ligando-se às suas células e inibindo o sistema de enzimas de oxidação do enxofre. Ainda, percebeu-se que o tungstênio se liga ao citocromo c oxidase nas membranas plasmáticas inibindo sua atividade, interrompendo seu crescimento celular (NEGISHI et al, 2005). Ainda, de acordo com Noeiaghahi et al. (2017), são muitos os os mecanismos bactericidas de nanomateriais, como óxido de cobre e nanopartículas de óxido de zinco. Foram atribuídos danos na membrana celular por contato direto com nanopartículas, produção fotocatalítica de EROs, liberação de íons tóxicos, interrupção do transporte de elétrons, oxidação de proteínas, modificação das

cargas da membrana, degradação de DNA, RNA e proteínas por EROs e redução da produção de adenosina trifosfato (ATP) devido à acidificação e produção de EROs.

2.3.1.2 Mecanismos antimicrobianos de agentes antimicrobianos orgânicos

De acordo com Qiu et al (2020), os agentes antimicrobianos orgânicos inibem o crescimento e a reprodução de microrganismos age destruindo suas membranas celulares, desnaturando proteínas ou interrompendo processos metabólicos, onde a ftalocianina contida no concreto ou argamassa pode ser introduzida na célula das bactérias oxidantes de enxofre, inibindo a reação enzimática dentro da célula e, eventualmente a matando. Em estudo realizado por Kong et al (2017), que buscava avaliar a aplicabilidade de bactericidas na prevenção da corrosão microbiana do concreto, percebeu-se que a ftalocianina de cobre, possui alta propriedade bactericida, fornecida principalmente por íons de cobre que podem interferir no processo metabólico das células das bactérias ou interferir na função de várias enzimas levando à morte das células.

Destaca-se que a maioria dos mecanismos antimicrobianos são relevantes para diminuir ou matar bactérias, porém os mecanismos antifúngicos e algicidas dos agentes antimicrobianos usados no concreto são raros (QIU et al, 2020).

2.4 COMPÓSITOS COM ADITIVOS BIOCIDAS

Estruturas de concreto e argamassas em ambientes úmidos são facilmente sujeitas a ação microbiana. Alguns aditivos foram considerados capazes de dotar o concreto propriedades antimicrobianas. Argamassas e concretos com adição de diversos agentes biocidas, têm sido extensivamente estudados na literatura (QIU et al., 2020).

De acordo com Alves (2014), existe viabilidade na incorporação de aditivos bactericidas nas argamassas, devido à baixa alteração nas propriedades físicas e mecânicas da argamassa quando comparada com argamassas sem aditivos. Entretanto, percebe-se que existe necessidade de avaliação à longo prazo.

Em seu estudo, Alves (2014), avaliou a viabilidade de quatro aditivos antibacterianos comerciais, descritos no Quadro 2, onde buscava verificar a eficiência dos aditivos contra as bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Verificou-

se que as argamassa com os aditivos *Nogabac LF* e *Acticide SR 1453* obtiveram os melhores resultados, sendo então as mais indicadas para produção de argamassas bactericidas. Vale ressaltar que na mistura com *Acticide SR 1453* observou-se uma resistência à compressão abaixo do esperado ($43,33 \pm 1,80$ MPa) e a mistura com *Nogabac LF* obteve-se o módulo de elasticidade também abaixo do esperado ($14,17 \pm 0,72$ GPa).

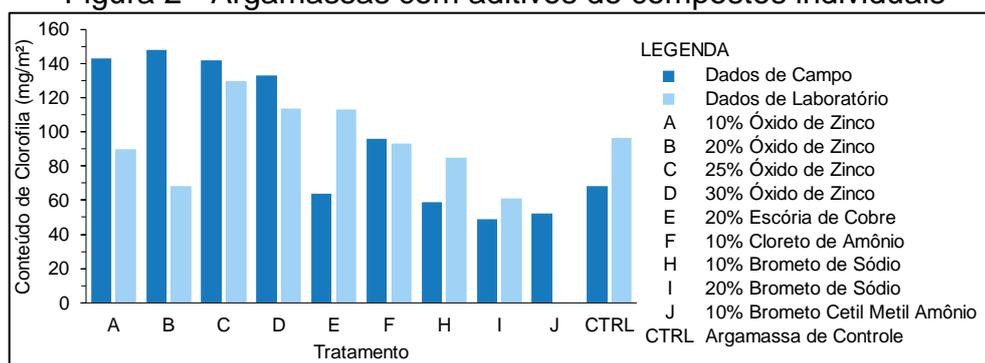
Quadro 2 - Descrição dos aditivos de Alves (2014)

Aditivo	Composição	Empresa
Acticide SBA	<i>a water based formulation of silver nitrate and 1,2-benziothiazolin-3-one (BIT)</i>	Thor Brasil Ltda.
Nogabac LF	<i>formulation of 5-cloro-2-metil-4-isotiazolin-3-ona (CIT), 2-metil-4-isotiazolin-3-ona (MIT) e bromonitropropano diol (Bronopol)</i>	Nogascar Química do Brasil Ltda.
Acticide SR 1453	<i>Protected 2-Octyl-2-H-isothiazol-3-one (OIT) and terbutryn on a solid carrier</i>	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)

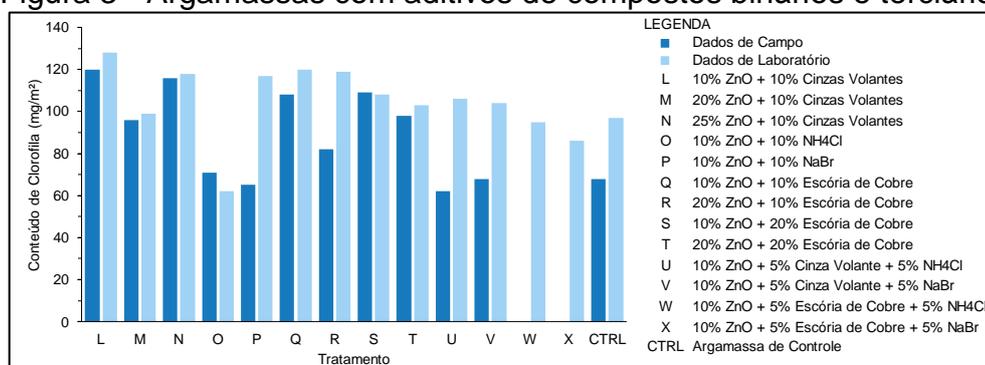
Em avaliação feita por Alum et al. (2008), onde se buscava pesquisar sobre revestimentos biocidas à base de cimento para controlar o crescimento de algas em canais de distribuição de água, foram utilizadas diferentes formulações de biocidas contendo cinzas volantes classe F, sílica ativa, óxido de Zn, escória de cobre, cloreto de amônio, brometo de sódio e brometo de cetil-metil-amônio. O estudo dividiu-se em formulações, em porcentagem de massa de cimento, com compostos unitários, resultados representados na Figura 2, binários e terciários, resultados representados na Figura 3. Para a fabricação dos corpos de prova, foram utilizados cimento Portland tipo I/II, areia de sílica como material de enchimento, relação areia/cimento de 0,5 e relação água/cimento de 0,5.

Figura 2 - Argamassas com aditivos de compostos individuais



Fonte: Adaptado de Alum et al. (2008)

Figura 3 - Argamassas com aditivos de compostos binários e terciários



Fonte: Adaptado de Alum et al. (2008)

Alum et al. (2008), observa que para argamassas com compostos unitários, 20% de óxido de zinco e 20% e brometo de sódio obtiveram os melhores resultados, 68 mg/m² e 60 mg/m² de clorofila total, produzindo a inibição de algas mais eficaz em comparação com o controle. Já para as com compostos binários e terciários, foram obtidas como o nível ótimo 20% óxido de zinco e 20% escória de cobre, com 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. Ainda, verificou-se que o uso de biocidas em argamassas, além de não resultar na degradação do ambiente e não apresentar grau elevado de toxicidade, se mostra muito efetivo para o controle e eliminação de microrganismos em argamassas.

Conforme estudo realizado por Vaquero et al. (2016), onde se buscava avaliar a biodeterioração em concretos, tanto em idades jovens, quanto avançadas (a partir de processos de envelhecimento acelerado), foram realizados diversos testes em concretos onde foram adicionados aditivos à sua formulação, o Quadro 3 apresenta os produtos antimicrobianos avaliados. As formulações biocidas foram compostas por um (monocomponente) ou vários produtos antimicrobianos (multicomponente).

Quadro 3 - Informações gerais sobre os produtos antimicrobianos avaliados

Número	Nome comercial	Efeito	Estado físico
1	ACTICIDE SR 1288 [®]	Fungicida e bactericida	Líquido
2	BIOPOL D 212 [®]	Fungicida	Pó
3	DENSIL P [®]	Fungicida e bactericida	Líquido
4	P 24-81	Fungicida e bactericida	Pó
5	BC 98-56	Fungicida e bactericida	Pó
6	VANQUISH 100 [®]	Fungicida, bactericida e algicida	Líquido
7	VANTOCIL IB [®]	Bactericida	Líquido
8	ACTICIDE SR 1453 [®]	Algicida e fungicida	Pó
9	ACTICIDE MBP [®]	Bactericida e fungicida	Pó
10	IRGASAN DP 300 [®]	Bactericida e fungicida	Pó

Fonte: Adaptado de Vaquero et al. (2016)

Foram incorporados aditivos, como os antiespumantes: MOUSSEX, BUBLEX e tri-isobutil fosfato (TIBP); solventes dos produtos antimicrobianos: Propileno (PG) e Polietilenoglicol (PEG); composto de anti-sedimentação OPTIGEL CR (OC); e enchimento de cálcio (EC). O teor de cada componente das formulações é dado entre parênteses, expresso em porcentagem da formulação, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Informações gerais sobre as formulações biocidas

Nome da formulação		Número ativo	Aditivos
Monocomponentes	BXT	1	EC (20%)
	BIOPOL D212	2	-
	DENSIL P	3	-
	P24-81	4	-
	BC 98-56	5	-
	VANQUISH 100	6	-
	VANTOCIL IB	7	-
	ACTICIDE MBP	9	-
	BXT / 11	10	PG (59,7%), TIBP (0,3%), água (15%)
	BXT / AB	10	PG (74,44%), TIBP (0,45%), BUBLEX (0,11%)
Multicomponentes	BXT / 1	1(16%), 8 (59%)	MOUSSEX (4%), água (21%)
	BXT / 5	1 (8%), 10(3,45%)	PG (10%), PEG (10%), TIBP (0,15%), OC (1,5%)
	BXT / 10P	9 (15%), 10 (4%)	MOUSSEX (0,3%), EC (80,7%)
	BXT / 12C	1 (5,12%), 10(5%)	PG (12,23%), PEG (77,34%), TIBP (0,21%), BUBLEX (0,1%)
	PL-UV-H-2B	8 (30%), 10 (15%)	MOUSSEX (4%), EC (51%)

Fonte: Adaptado de Vaquero et al. (2016)

As formulações dos biocidas que foram incorporadas à mistura do concreto em diferentes quantidades, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Dosagem das formulações biocidas monocomponentes

	Nome da formulação	Dosagem (% sobre o peso seco da mistura)	
Monocomponentes	BXT	0,05 0,15	
	BIOPOL D212	0,1 0,2 0,3	
	DENSIL P	0,2 0,5 1 2	
	P24-81	0,3	
	BC 98-56	0,3	
	VANQUISH 100	0,002 0,013 0,025 0,037 0,05	
	VANTOCIL IB	0,3 0,6 1	
	ACTICIDE MBP	0,1 0,4 0,8	
	BXT / 11	0,15 0,18 0,2 0,22	
	BXT / AB	0,01 0,05 0,1 0,15	
	Multicomponentes	BXT / 1	2,5 3 3,5
		BXT / 5	0,075 0,15 0,2 0,4
		BXT / 10P	0,8 1
		BXT / 12C	0,1 0,6
PL-UV-H-2B		0,15 0,2 0,3	

Fonte: Adaptado de Vaquero et al. (2016)

O experimento foi realizado em três fases principais consecutivas. Primeiramente, a avaliação das propriedades físicas do concreto. Em segundo lugar, os biocidas que passaram a primeira fase foram submetidos a um ensaio de avaliação da quantidade de ativo liberado da amostra e, por fim, foram realizadas avaliações das propriedades antimicrobianas nas amostras que passaram nas fases anteriores. A avaliação das propriedades antimicrobianas foi realizada duas vezes, antes e depois do processo de envelhecimento acelerado do concreto. Os microrganismos utilizados para o estudo foram as bactérias *Staphylococcus Aureus* e *Escherichia Coli*, as algas *Scenedesmus Vaculatus* e *Stichococcus Bacillaris* e o fungo *Aspergillus Niger*.

Os compostos monocomponentes BXT/AB, BXT/11, VANQUISH 100, DENSIL P e BC 98-56 e os multicomponentes BXT/12C, BXT/10P e BXT/1 falharam na fase de avaliação das propriedades físicas. Já os monocomponentes ACTICIDE MBP e P24-81 e os multicomponentes BXT/5 falharam na fase de avaliação das propriedades antimicrobianas (antes do processo de envelhecimento). O monocomponente BXT falhou na fase de avaliação das propriedades antimicrobianas (após o processo de envelhecimento) e os monocomponente BIOPOL D212 e VANTOCIL falharam na fase de avaliação da quantidade de ativo liberado da amostra. Por fim, o multicomponente PL-UV-H-2B foi o único que não falhou em nenhuma das etapas do processo.

Vaquero et al. (2016), verificaram que o aditivo multicomponente PL-UV-H-2B apresentou uma boa atividade biocida contra algas, fungos e bactérias. Além disso, verificou-se que as propriedades mecânicas do concreto não foram afetadas. O composto impediu o crescimento biológico no concreto e, na maioria dos casos, formou halos de inibição ao redor das amostras. Ainda, os autores destacam que as formulações de monocomponentes foram insuficientes para inibir o crescimento biológico no concreto sem prejuízo significativo às propriedades mecânicas do material ou perda de atividade bioestática eficiente após um curto período de tempo.

Em revisão realizada, verificou-se que a ação de microrganismos têm sido uma grande ameaça às estruturas de concreto e argamassa em sistemas de esgoto, ambientes marinhos, edifícios expostos a alta umidade, entre outros. O concreto antimicrobiano, com a adição de aditivo biocida, exibe excelente efeito antimicrobiano contra microrganismos específicos e ajuda a resolver problemas causados pelo metabolismo dos mesmos. Além disso, o concreto e argamassa antimicrobiana,

prolonga a vida útil das infraestruturas e diminui o enorme custo de reabilitação e até substituição (QIU et al, 2020).

Porém, fica evidenciado que ainda existem algumas questões importantes a serem analisadas, como, a toxicidade no meio ambiente, a eficácia temporária de alguns agentes antimicrobianos e a resistência dos microrganismos aos agentes antimicrobianos, por exemplo. Ainda, devido ao fato da grande maioria das pesquisas realizadas se restringirem à etapa de laboratório, percebe-se a necessidade de aplicações práticas para verificar a viabilidade do concreto antimicrobiano (QIU et al, 2020).

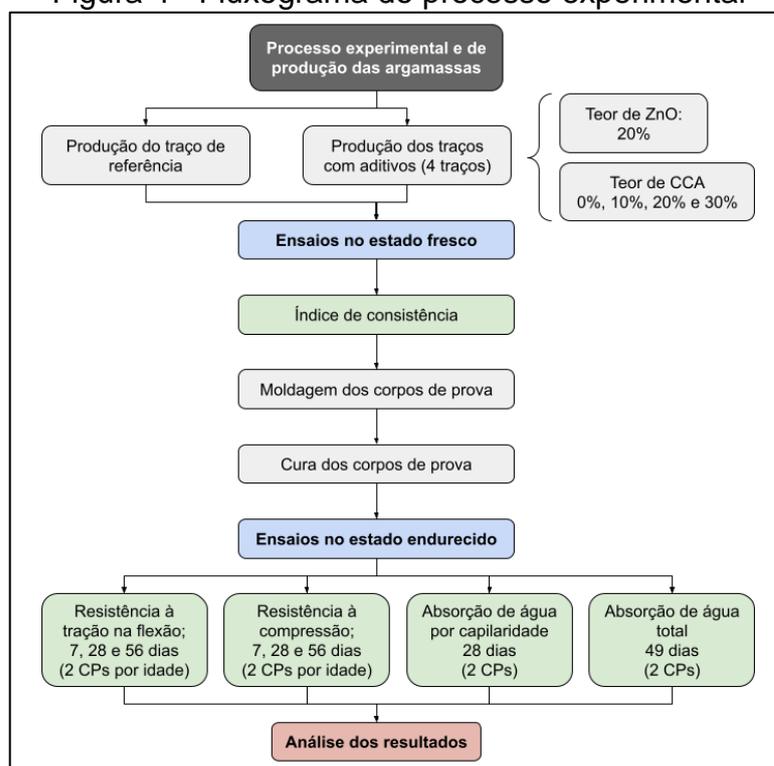
3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo descreve o sequenciamento das atividades realizadas para a obtenção dos resultados deste trabalho. Estão apresentados os materiais e os métodos utilizados para realização dos ensaios laboratoriais. Através da realização da metodologia apresentada, foi possível chegar aos resultados obtidos no estudo, sendo expostos no capítulo 4.

3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL

De modo geral, a análise comparativa do uso de aditivos biocidas em compósitos cimentícios ocorreu a partir da produção de corpos de prova, que foram submetidos a ensaios no estado fresco e no estado endurecido dos compósitos cimentícios. Foi realizado a verificação das propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios, bem como a comparação do crescimento de bactérias em compósitos cimentícios com e sem aditivo biocida, conforme fluxograma apresentado pela Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do processo experimental



Fonte: O Autor (2021)

3.2 VARIÁVEIS DO ESTUDO

De acordo com as variáveis de estudo determinadas, podemos obter diferentes resultados para o estudo em questão. As variáveis previamente determinadas são: parâmetros fixados, variáveis controláveis e as variáveis de resposta, onde as variáveis de resposta são influenciadas diretamente pelas variáveis controláveis e os parâmetros fixados. Na tabela 3 podemos verificar um resumo das variáveis aplicadas ao estudo.

Tabela 3 - Traços

Nomenclatura	Traço (cimento:areia)	a/c	% de adição de ZnO	% de adição de CCA
REF	1:0,5	0,45	0	0
TZnO	1:0,5	0,5	20	0
TZnOCCA10	1:0,5	0,5	20	10
TZnOCCA20	1:0,5	0,5	20	20
TZnOCCA30	1:0,5	0,5	20	30

Fonte: O Autor (2021). Onde a/c = relação água/cimento.

3.2.1 Parâmetros fixados

São determinados alguns parâmetros fixados para uma melhor padronização dos ensaios, o que facilita posteriormente na realização de análise dos resultados. Os traços dos compósitos cimentícios foram definidos a partir do estudo realizado por Alum et al (2008), no qual foi encontrado um traço de 1:0,5 (cimento:agregado miúdo) em massa e o mesmo foi utilizado em todas as formulações, além da trabalhabilidade que foi fixada em 286 ± 25 mm.

3.2.2 Variáveis controláveis

Com o objetivo de analisar os diferentes retornos de variáveis de resposta, é necessário definir as variáveis controláveis. As variáveis controláveis deste estudo são

os teores de adição óxido de zinco e de cinza de casca de arroz adicionadas as misturas. Baseado nos estudos referenciados, foram definidas as seguintes variáveis:

- a) 0% ZnO + 0% CCA (compósito cimentício de referência);
- b) 20% ZnO + 0% CCA;
- c) 20% ZnO + 10% CCA;
- d) 20% ZnO + 20% CCA;
- e) 20% ZnO + 30% CCA.

3.2.3 Variáveis de resposta

As variáveis de resposta são os resultados dos ensaios laboratoriais realizados: resistência à compressão, resistência à tração na flexão, absorção de água total, absorção de água por capilaridade, análise visual do crescimento de microrganismos nas amostras. Sendo que a análise destas auxiliou nas conclusões do estudo. Para a obtenção das variáveis de resposta, presume-se que os ensaios realizados no presente estudo são suficientes.

3.3 LIMITAÇÕES

O trabalho restringiu-se à avaliação do uso de Óxido de Zinco (ZnO) como aditivo biocida. Limitou-se a verificação visual para avaliar as propriedades biocidas dos compósitos cimentícios.

3.4 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.

3.4.1 Aglomerante

O aglomerante utilizado na produção dos compósitos cimentícios foi escolhido pela disponibilidade no Laboratório de Materiais de Construção, e pela compatibilidade com o artigo utilizado como referência, sendo escolhido o cimento Portland CP V-ARI RS. O mesmo, encontra-se dentro dos padrões regulamentados pela ABNT NBR 11578:1991, que normatiza os Cimentos Portland Compostos quanto as exigências químicas, físicas e mecânicas.

Para caracterização do cimento, presumiu-se que as especificações do cimento informadas pelo fabricante são corretas. Em ensaios realizado por Pagno (2018), que utilizou o mesmo aglomerante dessa pesquisa, foi determinado que o índice de finura é de 5,78% e massa específica de 2,914 g/cm³ que são regulamentados, respectivamente, pela ABNT NBR NM 23:2001 e ABNT NBR 11579:2012.

3.4.2 Agregado miúdo

A areia utilizada na produção dos compósitos cimentícios foi a areia disponível no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LENC) da Universidade de Caxias Do Sul. A NBR 7211 (ABNT, 2009) define os agregados miúdos como os agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 0,075 mm. A caracterização dos agregados miúdos foi obtida através dos ensaios normatizados, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Normas para caracterização do agregado

Nome da norma	Função da norma
ABNT NBR NM 45:2006	Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios
ABNT NBR NM 52:2009	Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente
ABNT NBR NM 248:2003	Agregados - Determinação da composição granulométrica

Fonte: O Autor (2021)

A realização do ensaio de granulometria do agregado miúdo foi realizada de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003, onde foi necessário separar duas amostras de 500g do agregado utilizado no estudo. Após a pesagem dos agregados as amostras foram colocadas no peneiradas, conforme indicado na norma. Terminado o peneiramento, foram realizadas as pesagens de agregado contido em cada peneira. Os resultados do ensaio de granulometria da areia utilizada no estudo podem ser encontrados na Tabela 4, bem como sua curva granulométrica pode ser visualizada na Figura 5.

Tabela 4 - Granulometria da areia

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa retida (g)	Massa retida acumulada (g)	Massa retida acumulada (%)
6,3	0,36	0,36	0
4,75	1,03	1,39	0
2,36	1,90	3,28	1
1,18	3,07	6,35	1
0,6	33,14	39,48	8
0,3	357,14	396,62	79
0,15	96,88	493,50	99
Fundo	5,17	498,67	100

Fonte: O Autor (2021)

A areia é classificada como areia fina. Suas propriedades, como, massa unitária média, massa específica média e módulo de finura encontram-se na Tabela 5. Abaixo na Figura 6, foto da areia utilizada.

Tabela 5 - Propriedades da areia

Propriedade	Resultado
Massa unitária média (kg/m ³)	1.487,63
Massa específica média (g/cm ³)	2,62
Módulo de finura	1,88
Dimensão máxima característica (DMC) (mm)	1,18

Fonte: O Autor (2021)

Figura 5 – Agregado miúdo



Fonte: O Autor (2021)

3.4.3 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).

3.4.4 Aditivos e adições

3.4.4.1 Óxido de Zinco

O óxido de zinco utilizado foi o encontrado disponível no mercado local, com preço de R\$ 22,50/kg, apresentado como um pó branco, fórmula ZnO. As propriedades do óxido de zinco estão apresentadas na Tabela 6. Abaixo na Figura 7, foto do óxido de zinco utilizado.

Tabela 6 - Propriedades do Óxido de Zinco

Propriedade	Resultado
Densidade (g/cm ³)	5,61
Área superficial (m ² /g)	4 a 6
Tamanho médio de partícula (µm)	0,3 a 1

Fonte: Adaptado de Gujel (2016).

Figura 6 - Óxido de zinco



Fonte: O Autor (2021)

3.4.4.2 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. Na Figura 8, foto da cinza de casca de arroz utilizada.

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)

Figura 7 - Cinza de Casca de Arroz



Fonte: O Autor (2021)

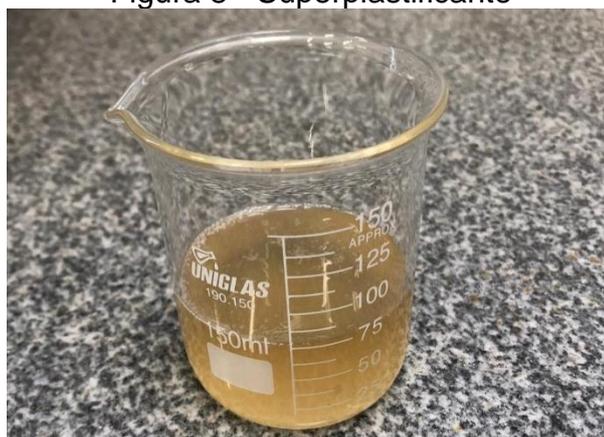
3.4.4.3 Superplastificante

O superplastificante utilizado 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, suas propriedades encontram-se na Tabela 8 e na Figura 9 é apresentado uma foto do superplastificante utilizado.

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

Fonte: Adaptado de fornecedor

Figura 8 - Superplastificante



Fonte: O Autor (2021)

3.5 MÉTODOS DE ENSAIO

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

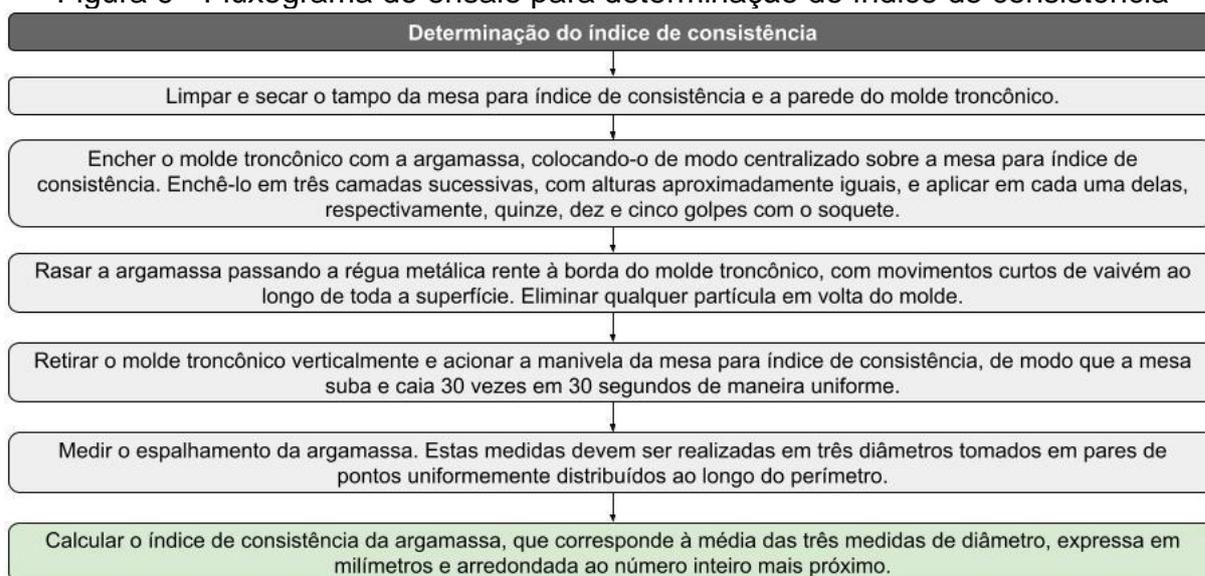
3.5.1 Compósitos cimentícios no estado fresco

Os ensaios no estado fresco para caracterização dos compósitos cimentícios de referência e dos compósitos cimentícios com aditivo biocida foram realizados através do índice de consistência.

3.5.1.1 Ensaio índice de consistência (*flow table*)

Os ensaios de índice de consistência foram realizados de acordo com a ABNT NBR 13276:2016, conforme fluxograma apresentado na Figura 10. Será realizado com três amostras de cada tipo dos compósitos cimentícios.

Figura 9 - Fluxograma do ensaio para determinação do índice de consistência



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

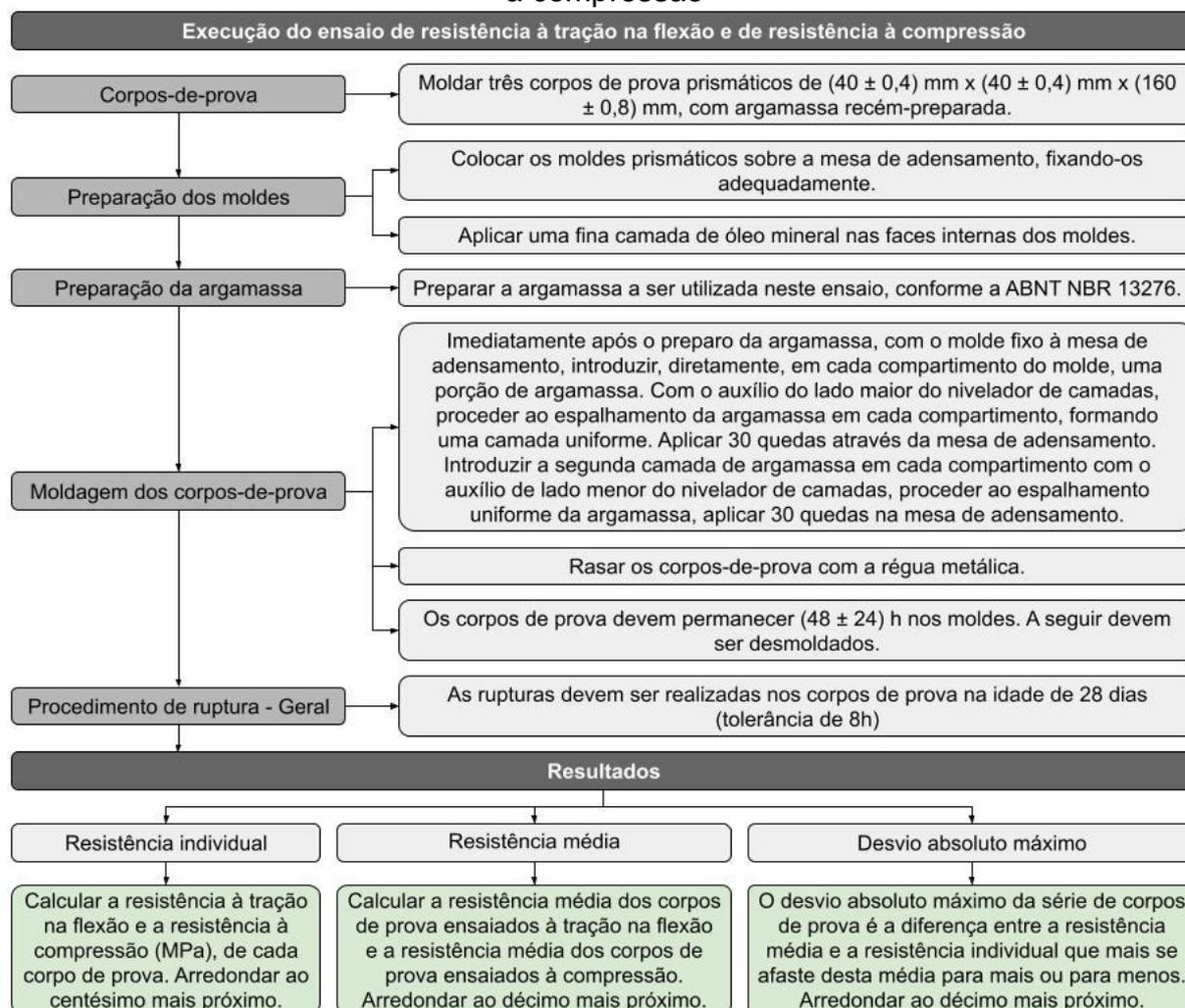
3.5.2 Compósitos cimentícios no estado endurecido

Os ensaios, no estado endurecido, para caracterização dos compósitos cimentícios serão realizados através do ensaio de resistência à tração na flexão, de resistência à compressão, da análise visual das propriedades bactericidas dos compósitos cimentícios e absorção de água capilar para todas as composições. Os ensaios de resistência serão realizados com os corpos de prova na idade de 7, 28 e 56 dias. E os demais ensaios com idade mínima de 28 dias.

3.5.2.1 Ensaio de resistência à tração na flexão

Os ensaios de resistência à tração na flexão serão realizados de acordo com a ABNT NBR 13279:2005, conforme fluxograma apresentado na Figura 11, na idade de 7, 28 e 56 dias.

Figura 10 - Fluxograma do ensaio de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão



Fonte: adaptado de ABNT NBR 13279 (2005).

Ainda, de acordo com NBR 13279 (ABNT, 2005), deve-se posicionar o corpo de prova 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. Após, aplicar carga de (50 ± 10) N/s até a ruptura do corpo de prova. Para o cálculo da resistência à tração na flexão é utilizada a Equação 1.

$$R_f = 1,5 F_f L/40^3 \quad (1)$$

Onde:

R_f - resistência à tração na flexão (MPa);

F_f - carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N);

L - distância entre os suportes (mm);

Destaca-se que se o desvio absoluto máximo for superior a 0,3 MPa, deve-se desconsiderar o valor mais discrepante e calcular uma nova média, persistindo, o ensaio deve ser refeito.

3.5.2.2 Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão serão realizados de acordo com a ABNT NBR 13279:2005, conforme fluxograma já apresentado na Figura 11, na idade de 7, 28 e 56 dias. De acordo com a norma, deve-se utilizar as 6 metades resultantes dos corpos de prova do ensaio de flexão, posicionando-as no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio. Após, aplicar carga de (500 ± 50) N/s até a ruptura do corpo-de-prova. Para calcular a resistência à compressão é utilizada a Equação 2.

$$R_c = F_c / 1600 \quad (2)$$

Onde:

R_c - resistência à compressão (MPa);

F_c - carga máxima aplicada (N);

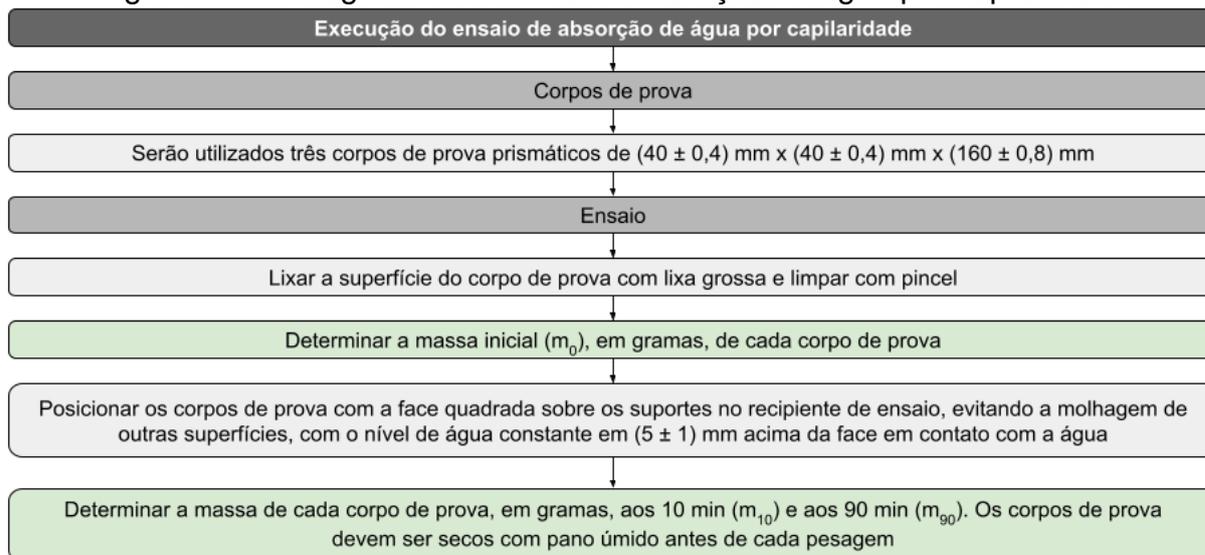
1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga (mm²).

Destaca-se que se o desvio absoluto máximo for superior a 0,5 MPa, deve-se desconsiderar o valor mais discrepante e calcular uma nova média, persistindo, exclui-se o segundo valor mais discrepante, continuando acima de 0,5 MPa, o ensaio deve ser refeito.

3.5.2.3 Ensaio de absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade será realizado conforme ABNT NBR 15259:2005, conforme fluxograma apresentado na Figura 12, na idade mínima de 28 dias dos corpos de prova.

Figura 11 - Fluxograma do ensaio de absorção de água por capilaridade



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15259 (2005)

Ainda, de acordo com a ABNT NBR 15259:2005, para o cálculo da absorção de água por capilaridade, deve ser utilizada a Equação 3.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (3)$$

Onde:

A_t – absorção de água por capilaridade, para cada tempo (g/cm^2);

m_t – massa do corpo de prova em cada tempo (g);

m_0 – massa inicial do corpo de prova (g);

t – tempo de 10 min e 90 min (s);

16 – área do corpo de prova (cm^2).

3.5.2.4 Ensaio de absorção de água total

O ensaio de absorção de água (A) será realizado conforme adaptação da ABNT NBR 9778:2005, onde as amostras foram submersas em um tonel cheio de água, para que com auxílio da pressão exercida pela água, todos os vazios das amostras sejam preenchidos. Ainda foram realizadas pesagens até uma constância de massa de 0,5 % de variação máxima. Os ensaios iniciaram com idade de 49 dias. Para o cálculo da absorção de água, deve ser utilizada a Equação 4.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

m_{sat} – massa da amostra saturada em água após imersão e fervura

m_s – massa da amostra seca em estufa

3.6 QUANTITATIVO DE ENSAIOS

A quantidade de ensaios realizados nos compósitos cimentícios está apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Quantitativo total de ensaios dos compósitos cimentícios

Ensaio	REF	TZnO	TZnO CCA10	TZnO CCA20	TZnO CCA30	Total (un)
Índice de consistência	1	1	1	1	1	5
Resistência à tração na flexão	6	6	6	6	6	30
Resistência à compressão	12	12	12	12	12	60
Absorção de água capilar	2	2	2	2	2	10
Absorção de água total	2	2	2	2	2	10
Análise visual das propriedades biocidas dos compósitos cimentícios	1	1	1	1	1	5
Total (un)	24	24	24	24	24	120

Fonte: O Autor (2021).

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. Para uma melhor visualização dos resultados, os mesmos foram ilustrados em forma de tabelas e gráficos, seguidos das devidas análises e discussões.

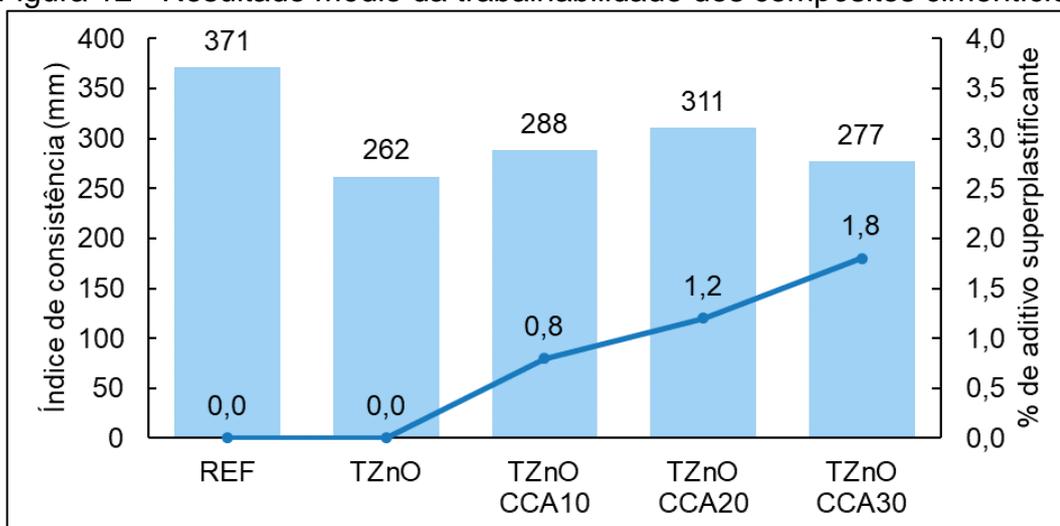
4.1 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Neste item estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados para avaliação das propriedades dos compósitos cimentícios no estado fresco. Sendo assim, foram realizados os ensaios laboratoriais para avaliação da trabalhabilidade.

4.1.1 Trabalhabilidade

Para atingir uma consistência que apresentasse uma boa trabalhabilidade foi necessário o aumento da relação a/c de 0,45 para 0,50 nos traços TZnO, TZnOCCA10, TZnOCCA20, TZnOCCA30 em relação ao traço REF, devido à maior demanda de água que os traços pediam. Ainda, foi preciso adicionar os teores 0,8%, 1,2% e 1,8% de aditivo superplastificante em relação à massa de cimento nos traços TZnOCCA10, TZnOCCA20, TZnOCCA30, respectivamente, para assim atingir uma trabalhabilidade satisfatória. A consistência buscada, foi a suficiente para que a moldagem dos corpos de prova ocorresse com facilidade, gerando assim para os compósitos com adições uma trabalhabilidade variando de 286 ± 25 mm. A Figura 13 ilustra os índices de consistência obtidos e os teores de superplastificante utilizados.

Figura 12 - Resultado médio da trabalhabilidade dos compósitos cimentícios



Fonte: O Autor (2021)

Ainda, de acordo com Hoffmann (2001), materiais finos, por apresentarem superfícies específicas elevadas acabam criando a necessidade da utilização de aditivos como superplastificantes para não necessitar o aumento da relação a/c. O que explica o efeito que a cinza de casca de arroz teve na trabalhabilidade dos compósitos cimentícios, pois sem o uso do superplastificante seria necessário o aumento da água na mistura.

4.2 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

Neste item estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados para avaliação das propriedades dos compósitos cimentícios no estado endurecido. Sendo assim, foram realizados os ensaios laboratoriais para avaliação destes compósitos cimentícios quanto a: resistência à compressão, resistência à tração na flexão, absorção de água total e absorção de água por capilaridade.

4.2.1 Resistência mecânica

Para uma melhor compreensão das resistências à compressão e resistências à tração na flexão obtidas no estudo, primeiramente serão avaliadas as resistências entre o traço de referência, REF, e o traço com 20% de adição de óxido de zinco, TZnO. Em sequência foram avaliadas as resistências entre o traço TZnO e os demais.

4.2.1.1 Resistência à compressão entre REF e TZnO

No ensaio de resistência à compressão foram avaliados os resultados nas idades de 7, 28 e 56 dias. Os resultados médios de resistência à compressão estão expressos na Tabela 10.

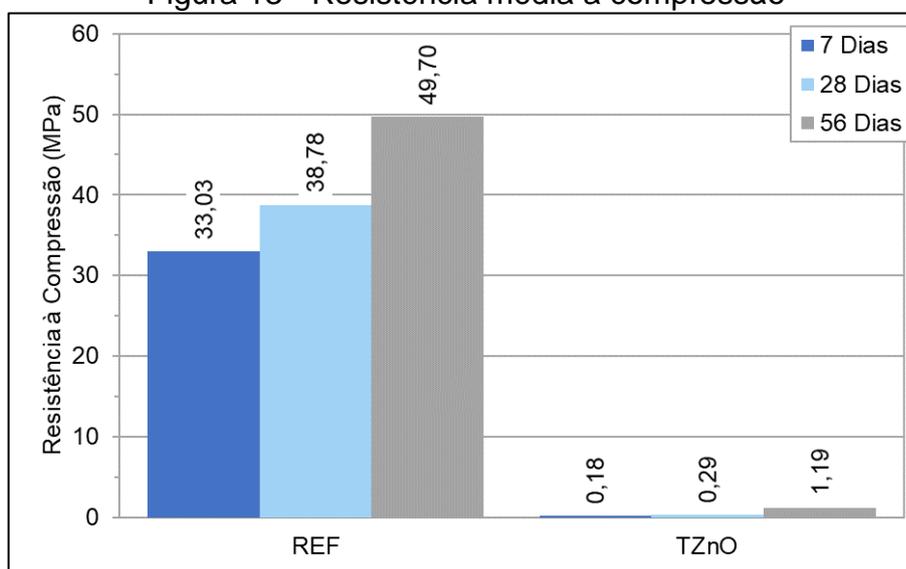
Tabela 9 - Resultados médios de resistência à compressão

Tipo	Resistência à Compressão (MPa)		
	7 Dias	28 Dias	56 Dias
REF	33,03	38,78	49,70
TZnO	0,18	0,29	1,19

Fonte: O Autor (2021)

Para uma melhor visualização dos resultados, a partir dos dados obtidos na Tabela 10 foram gerados gráficos da resistência média à compressão aos 7, 28 e 56 dias. Na Figura 14 estão expressos os resultados obtidos.

Figura 13 - Resistência média a compressão



Fonte: O Autor (2021)

Na idade de 7 dias, o compósito cimentício TZnO apresentou uma diminuição de 99,46%, em relação ao traço REF. Na idade de 28 dias uma queda significativa na resistência do compósito cimentício TZnO, apresentou uma diminuição de 99,25% em relação ao traço REF. Na idade de 56 dias o compósito cimentício TZnO, apresentou

uma diminuição de 97,60% em relação ao traço REF.

4.2.1.2 Resistência à tração na flexão entre REF e TZnO

No ensaio de resistência à tração na flexão foram avaliados os resultados nas idades de 7, 28 e 56 dias. Os resultados de resistência à tração na flexão estão expressos na Tabela 11, onde são apresentados os resultados médios de resistência à compressão. Destaca-se que o traço TZnO no rompimento aos 28 dias rompeu ao ser colocado na máquina para o ensaio, desse modo, não conseguindo ser realizado o teste.

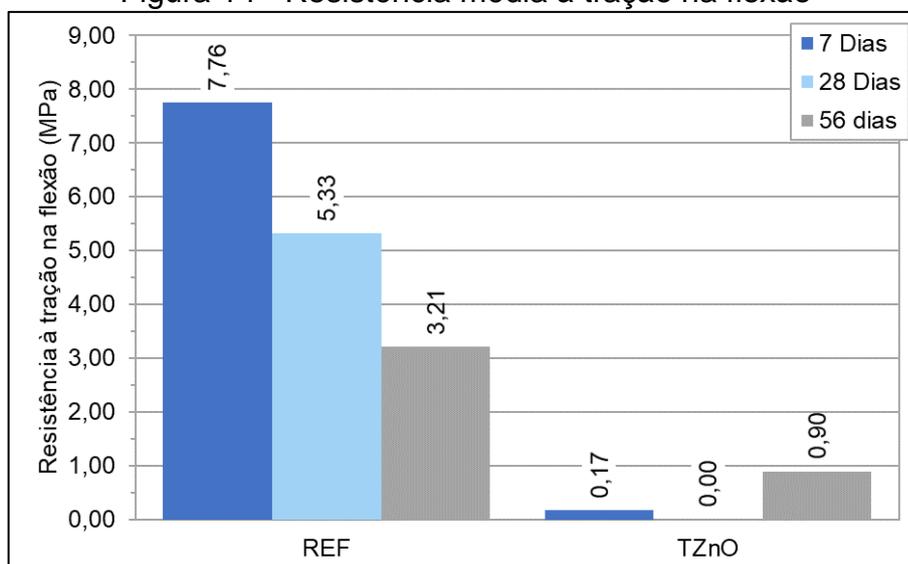
Tabela 10 - Resultados médios de resistência à tração na flexão

Tipo	Resistência à Tração na Flexão (MPa)		
	7 Dias	28 Dias	56 Dias
REF	7,76	5,33	3,21
TZnO	0,17	*	0,90

Fonte: O Autor (2021)

Para uma melhor visualização dos resultados, a partir dos dados obtidos na Tabela 11 foram gerados gráficos da resistência média à tração na flexão aos 7, 28 e 56 dias. Na Figura 15 estão expressos os resultados obtidos.

Figura 14 - Resistência média à tração na flexão



Fonte: O Autor (2021)

O compósito cimentício contendo o aditivo óxido de zinco apresentou queda de resistência significativa em relação ao de referência em todas as idades. Na idade de 7 dias o traço TZnO apresentou diminuição de 97,81% em relação ao traço REF. Na idade de 28 dias, não foi possível realizar o ensaio de resistência à tração na flexão do traço TZnO, pois o corpo de prova quebrou ao ser posicionado na prensa, assim, inviabilizando o ensaio. Na idade de 56 dias, O traço TZnO apresentou uma diminuição de 72,12% em relação ao traço REF.

Apesar de nos 56 dias o traço TZnO apresentar uma diminuição menor nas resistências à tração na flexão quando comparado com as demais idades, destaca-se que houve diminuição na resistência aos 56 dias, do traço de referência, quando comparada com os 7 e 28 dias, sendo as quedas de 58,61% e 39,72%, respectivamente.

4.2.1.3 Análise das propriedades mecânicas entre REF e TZnO

Autores como García-Díaz et al (2008), que buscavam analisar o efeito do ZnO no processo de clínquerização, onde foram utilizadas concentrações de 0,5% e 2,0% de ZnO na matéria-prima do cimento, mostram uma diminuição do conteúdo de silicato tricálcico (C_3S), responsável pela resistência do concreto nas idades iniciais, e aluminato tricálcico (C_3A), responsável pela pega e endurecimento inicial dos compósitos cimentícios, evidenciando que maiores concentrações de ZnO fazem com que ocorra retardação nas reações de hidratação do cimento, e por consequência, quanto maior as concentrações de ZnO, maior o impacto negativo na resistência.

Ainda, em estudos realizados por Klapiszewska et al (2021), ensaios físicos e mecânicos confirmaram o efeito retardante do óxido de zinco nas reações de hidratação do cimento no período de pega inicial, que se manifestou por parâmetros mecânicos mais baixos até o 7º dia de pega. Podendo assim confirmar a relação entre a perda da resistência do compósito cimentício e concentração de ZnO na mistura.

4.2.1.4 Resistência à compressão entre traços com aditivos

No ensaio de resistência à compressão foram avaliados os resultados nas idades de 7, 28 e 56 dias. Os resultados de resistência à compressão estão expressos na Tabela 10, onde são apresentados os resultados médios de resistência à compressão dos traços com aditivos.

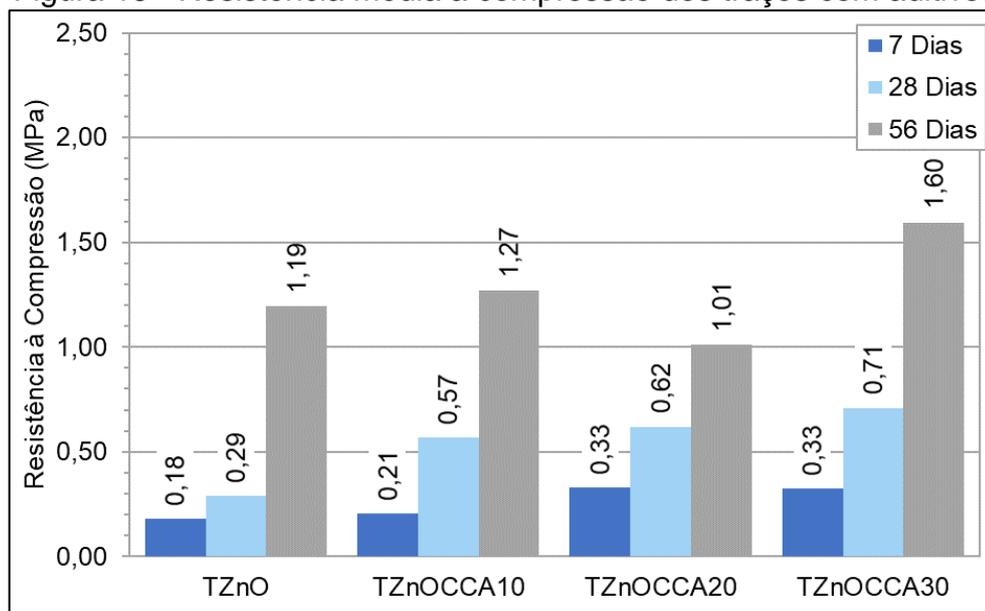
Tabela 11 - Resultados médios de resistência à compressão dos traços com aditivos

Tipo	Resistência à Compressão (MPa)		
	7 Dias	28 Dias	56 Dias
TZnO	0,18	0,29	1,19
TZnOCCA10	0,21	0,57	1,27
TZnOCCA20	0,33	0,62	1,01
TZnOCCA30	0,33	0,71	1,60

Fonte: O Autor (2021)

Para uma melhor visualização dos resultados, a partir dos dados obtidos na Tabela 10 foram gerados gráficos da resistência média à compressão aos 7, 28 e 56 dias. Na Figura 14 estão expressos os resultados obtidos.

Figura 15 - Resistência média a compressão dos traços com aditivos



Fonte: O Autor (2021)

Em quase todas as idades verifica-se um aumento na resistência a compressão dos traços com a adição da cinza de casca de arroz em relação ao traço sem sua adição. Na idade de 7 dias, os traços TZnOCCA10, TZnOCCA20 e TZnOCCA30 apresentaram um aumento de 16,67%, 83,33% e 83,3%, respectivamente, em relação ao traço TZnO. Na idade de 28 dias, os traços TZnOCCA10, TZnOCCA20 e TZnOCCA30 apresentaram um aumento de 96,55%, 113,79% e 144,83%, respectivamente, em relação ao traço TZnO. Na idade de 56 dias, os traços TZnOCCA10 e TZnOCCA30 apresentaram um aumento de 6,72% e 34,45%, respectivamente, em relação ao traço TZnO. Apenas o traço TZnOCCA20 apresenta uma diminuição de 15,13% em relação ao traço TZnO.

Fica evidenciado que a utilização da cinza de casca de arroz na mistura auxiliou no desenvolvimento das resistências dos traços que as tinham como suas adições. Apesar de não ser suficiente, a ação fíler ficou comprovada.

4.2.1.5 Resistência à tração na flexão entre os traços com aditivos

No ensaio de resistência à tração na flexão foram avaliados os resultados nas idades de 7, 28 e 56 dias. Os resultados de resistência à tração na flexão estão expressos na Tabela 11, onde são apresentados os resultados médios de resistência à compressão dos traços com aditivos. Destaca-se que o traço TZnO no rompimento aos 28 dias rompeu ao ser colocado na máquina para o ensaio, desse modo, não conseguindo ser realizado o teste.

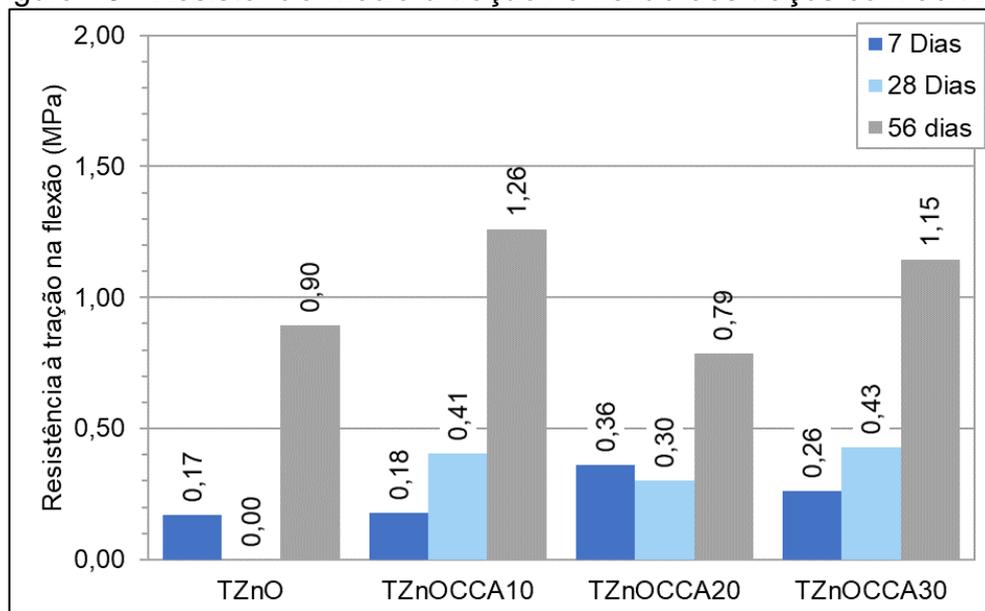
Tabela 12 - Resultados médios de resistência à tração na flexão dos traços com aditivos

Tipo	Resistência à Tração na Flexão (MPa)		
	7 Dias	28 Dias	56 Dias
TZnO	0,17	*	0,90
TZnOCCA10	0,18	0,41	1,26
TZnOCCA20	0,36	0,30	0,79
TZnOCCA30	0,26	0,43	1,15

Fonte: O Autor (2021)

Para uma melhor visualização dos resultados, a partir dos dados obtidos na Tabela 11 foram gerados gráficos da resistência média à tração na flexão aos 7, 28 e 56 dias. Na Figura 15 estão expressos os resultados obtidos.

Figura 16 - Resistência média à tração na flexão dos traços com aditivos



Fonte: O Autor (2021)

Na idade de 7 dias, os traços TZnOCCA10, TZnOCCA20 e TZnOCCA30 apresentaram um aumento de 5,88%, 111,76% e 52,94%, respectivamente, em relação ao traço TZnO. Na idade dos 28 dias não é possível fazer essa comparação pois não há dados da resistência à tração na flexão para o traço TZnO. Na idade de 56 dias, os traços TZnOCCA10 e TZnOCCA30 apresentaram um aumento de 40,0% e 27,78%, respectivamente, em relação ao traço TZnO. Apenas o traço TZnOCCA20 apresenta uma diminuição de 12,22% em relação ao traço TZnO.

Do mesmo modo que para a resistência a compressão, a resistência à tração na flexão mostra que as propriedades fíler da cinza de casca de arroz sem mostraram presentes, auxiliando no ganho de resistência.

4.2.2 Absorção de água por capilaridade

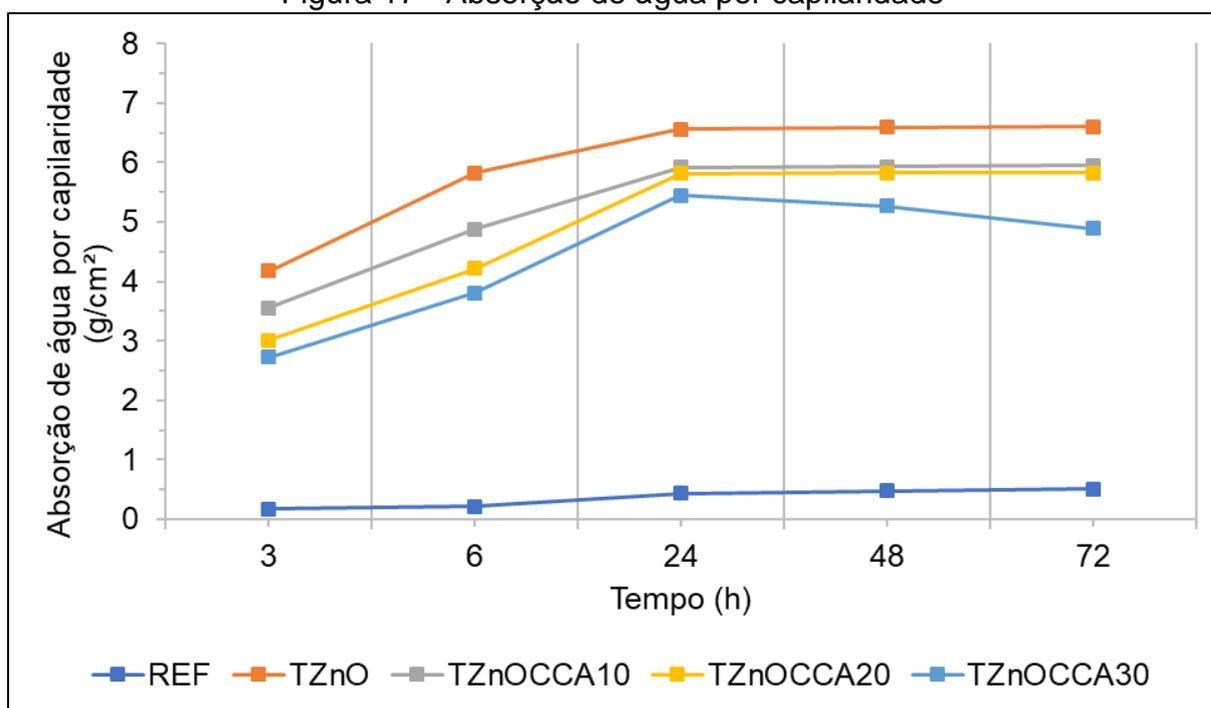
Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade estão expressos na Tabela 12. Os valores apresentados são provenientes dos resultados médios de absorção de água por capilaridade.

Tabela 13 - Resultados médios de absorção de água por capilaridade

Traço	Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)				
	Tempo (horas)				
	3	6	24	48	72
REF	0,1703	0,2188	0,4375	0,4828	0,5091
TZnO	4,1813	5,8284	6,5631	6,5878	6,6044
TZnOCCA10	3,5525	4,8781	5,9234	5,9297	5,9481
TZnOCCA20	3,0059	4,2206	5,8188	5,8222	5,8259
TZnOCCA30	2,7297	3,8072	5,4463	5,2641	4,8950

Para uma melhor visualização dos resultados, a partir dos dados obtidos na Tabela 12 também foi gerada uma representação gráfica da absorção de água por capilaridade, podendo ser visualizado na Figura 16.

Figura 17 - Absorção de água por capilaridade



Fonte: O Autor (2021)

Nos traços TZnO, TZnOCCA10, TZnOCCA20 e TZnOCCA30 verifica-se um grande aumento na absorção de água por capilaridade se comparado com a referência. Verifica-se ainda que após 24 horas de ensaio o gráfico se torna praticamente linear com exceção do traço TZnOCCA30 que após 24 horas teve uma

diminuição de seu índice de absorção de água por capilaridade. Ainda fica visível a influência da cinza de casca de arroz nos resultados, que conforme teve seu teor aumentado, diminuiu a absorção de água do traço, devido ao seu efeito *filler*.

4.2.3 Absorção de água total

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água estão expressos na Tabela 13. Os valores apresentados são provenientes dos resultados médios de absorção de água.

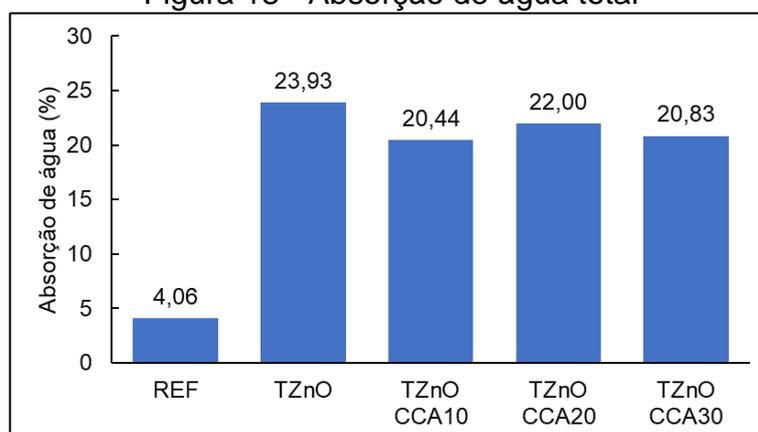
Tabela 14 - Absorção de água total

Traço	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção de água (%)
REF	502,82	523,22	4,06
TZnO	432,57	536,09	23,93
TZnO CCA10	453,51	546,22	20,44
TZnO CCA20	438,55	535,04	22,00
TZnO CCA30	434,60	525,14	20,83

Fonte: O Autor (2021)

Para uma melhor visualização dos resultados, a partir dos dados obtidos na Tabela 13 também foi gerada uma representação gráfica da absorção de água, podendo ser visualizado na Figura 17.

Figura 18 - Absorção de água total



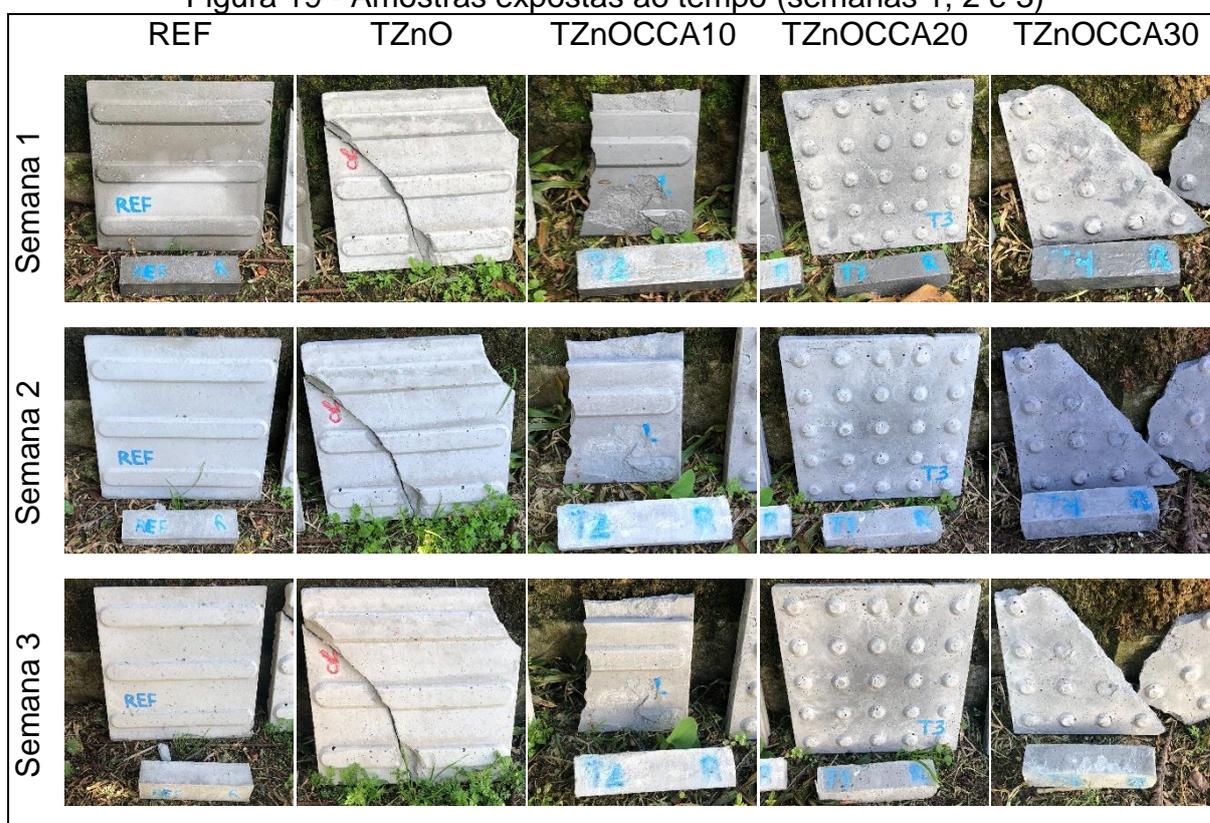
Fonte: O Autor (2021)

Nos traços TZnO, TZnOCCA10, TZnOCCA20 e TZnOCCA30 verifica-se um grande aumento na absorção de água se comparado com a referência. Verifica-se ainda que o traço sem adição da cinza de casca de arroz (TZnO), apresenta a maior absorção de água. Ainda fica visível a grande quantidade de vazios que os traços TZnO, TZnOCCA10, TZnOCCA20 e TZnOCCA30 apresentam, e de acordo com Medeiros-Junior et al (2019), conforme a absorção de água total aumenta, a resistência diminui.

4.2.4 Análise visual das propriedades biocidas

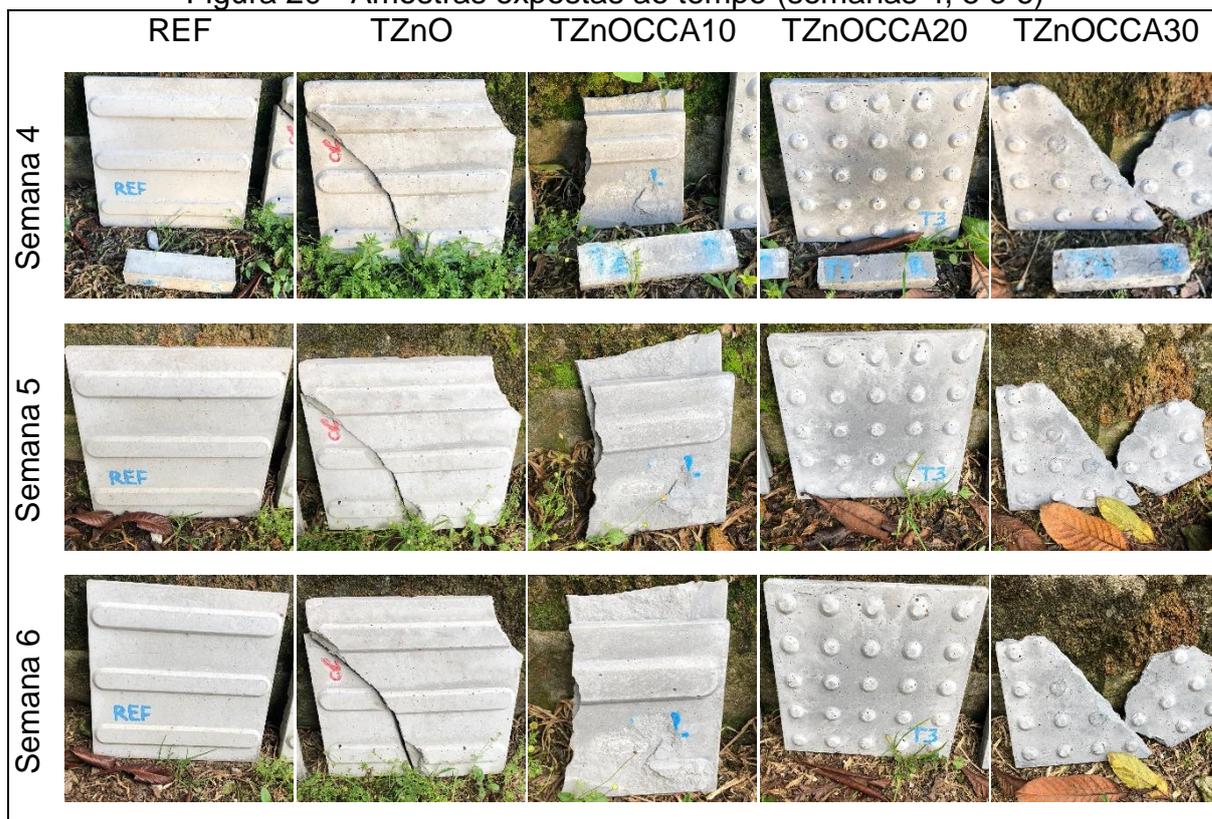
As Figuras 18 e 19 apresentam as amostras expostas ao tempo, as amostras ficaram em contato com o solo e em posição que não tinham contato com o sol ao longo do dia durante 6 semanas, desse modo facilitando a proliferação de microrganismos nas amostras.

Figura 19 - Amostras expostas ao tempo (semanas 1, 2 e 3)



Fonte: O Autor (2021)

Figura 20 - Amostras expostas ao tempo (semanas 4, 5 e 6)



Fonte: O Autor (2021)

Não podem ser verificadas a olho nu variações significativas entre as amostras expostas ao tempo. Apesar de terem ficado 6 semanas expostas, foi pouco tempo para gerar colônias de microrganismos grandes o suficiente para serem visualizadas. Não podendo assim ser possível fazer uma comparação visual das propriedades biocidas do aditivo entre as amostras. Destaca-se que as principais variações entre as figuras decorrem da umidade de cada uma.

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo estão apresentadas as considerações finais obtidas através dos resultados dos ensaios realizados com intuito de avaliar as propriedades mecânicas de compósitos cimentícios com aditivos biocidas. Também serão apresentadas sugestões visando a melhoria para futuros estudos nesta área.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscando responder aos objetivos deste trabalho, seguem as devidas considerações:

a) Verificou-se que no estado fresco do compósito cimentício, a incorporação do óxido de zinco na mistura solicitou uma relação maior de água/cimento e que conforme houve o aumento na concentração de cinza de casca de arroz a demanda de água também aumentou, fazendo com que fosse necessária a utilização do superplastificante para que os compósitos cimentícios atingissem uma trabalhabilidade adequada.

b) Verificou-se que no estado endurecido a resistência a compressão dos traços com incorporação do óxido de zinco obtiveram uma enorme queda na sua resistência quando comparados com a referência, gerando um compósito cimentício muito frágil o que acaba tornando um produto inviável de ser utilizado no mercado.

c) Verificou-se que no estado endurecido a resistência à tração na flexão os compósitos com incorporação de ZnO obtiveram elevada queda na sua resistência se comparada a resistência da referência, gerando um produto inviável para aplicação no mercado.

d) Verifica-se que, além do produto ter uma baixa resistência, a relação de aglomerante:agregado (1:0,5), não usual no mercado da construção civil, acaba se tornando mais uma barreira para implementação desse produto no dia a dia.

e) Verificou-se que devido ao baixo tempo de exposição ao ambiente, 6 semanas, não foi possível fazer a análise visual do crescimento de microrganismos nos traços desenvolvidos, devido as amostras não apresentarem colônias de microrganismos grandes o suficiente para serem vistas a olho nu.

Apesar do estudo realizado mostrar resultados insatisfatórios, ficou evidente a importância do desenvolvimento de estudos na área de adições biocidas, para que possa ser possível sua aplicação no mercado. A fim de proporcionar que as estruturas sejam cada vez mais duráveis.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com intuito de contribuir para um melhor desenvolvimento para trabalhos futuros, seguem algumas sugestões:

a) Devido ao óxido de zinco ser um material muito visado como utilização de aditivo biocida, fica como sugestão avaliar diferentes concentrações de óxido de zinco em compósitos cimentícios, verificando suas propriedades no estado fresco, endurecido e verificar suas propriedades biocidas, para garantir um produto que de fato funcione.

REFERÊNCIAS

- ACURIO, M. A. 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.
- 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 11172**: Aglomerantes de origem mineral - Terminologia. Rio de Janeiro, 1990.
- _____. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.
- _____. **NBR 11579**: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.
- _____. **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 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. 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**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**. Vol. 1, 6 Ed – Rio de Janeiro, 2019.

BEATO SOBRINHO, Mario Marques. **Estudo da ocorrência de fungos e permeabilidade em revestimentos de argamassa em habitações de interesse social - estudo de caso na cidade de Pitangueiras/SP**. São Carlos, 2008.

GARCIA-DIAZ, I. et al. **Efecto del ZnO, ZrO₂ y B₂O₃ en el proceso de clinkerización. Parte I. Reacciones de clinkerización y composición de los clínkeres**. Madrid, 2008.

GUJEL, A. A. **Desenvolvimento e caracterização de composições elastoméricas de EPDM com redução no teor de óxido de zinco**. Caxias do Sul, 2016.

HAILE, T. et al. **Mechanistic study of the bactericidal action of silver-loaded chabasite on Acidithiobacillus thiooxidans**. Canadá, 2010.

HOFFMANN A. T. **Influência da adição de sílica ativa, relação água / aglomerante, temperatura e tempo de cura no coeficiente de difusão de cloretos em concretos**. Porto Alegre, 2001.

KLAPISZEWSKA, I. et al. **Production of antibacterial cement composites containing ZnO/lignin and ZnO–SiO₂/lignin hybrid admixtures**. Polónia, 2021.

KONG, Lijuan et al. **Study on the applicability of bactericides to prevent concrete microbial corrosion**. China, 2017.

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

MEDEIROS-JUNIOR, R. A. et al. **Correlações entre absorção de água, resistividade elétrica e resistência à compressão de concreto com diferentes teores de pozolana**. Paraná, 2021.

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

NEGISHI, Atsunori et al. **Growth Inhibition by Tungsten in the Sulfur-Oxidizing Bacterium *Acidithiobacillus thiooxidans***. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, Vol. 69, 11 Ed., p. 2073–2080, 2005.

NOGAMI, Yasuo et al. **Inhibition of Sulfur Oxidizing Activity by Nickel Ion in *Thiobacillus thiooxidans* NB1–3 Isolated from the Corroded Concrete**. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, Vol. 61, 8 Ed., p. 1373–1375, 1997.

NOEIAGHAEI, Tahereh et al. **Biogenic deterioration of concrete and its mitigation Technologies**. Austrália, 2017.

PAGNO, P. H. M. **Avaliação de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha**. Caxias do Sul, 2018.

PEREIRA, Luciana Manzoni. **Avaliação das patologias e da biodeterioração na biblioteca central da UFSM**. Santa Maria, 2012.

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

VAQUERO, J. M. et al. **Development and experimental validation of an overlay mortar with biocide activity**. Espanha, 2016.