

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA - PROACAD
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS – PPGCEM
MESTRADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

ARIÁDNY COMIN CARDOZO

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DO SABUGO DE MILHO
COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO
EM PLACAS CIMENTÍCIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Michael Peterson
Coorientador: Profa. Dra. Elaine
Guglielmi Pavei Antunes

**CRICIÚMA
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

C268e Cardozo, Ariádny Comin.

Estudo da incorporação do sabugo de milho como substituição parcial do agregado miúdo em placas cimentícias / Ariádny Comin Cardozo. - 2022.

128 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, 2022.

Orientação: Michael Peterson.

Coorientação: Elaine Guglielmi Pavei Antunes.

1. Cimento amianto. 2. Argamassa reforçada com fibra. 3. Sabugo de milho - Aditivos. 4. Concreto - Aditivos. 5. Isolamento térmico. I. Título.

CDD 23. ed. 620.135

Ariadny Comin Cardozo

Estudo da incorporação do sabugo de milho como substituição parcial do agregado miúdo em placas cimentícias.

Esta Dissertação foi julgada adequada à obtenção do grau de Mestre(a) em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

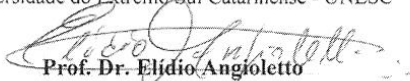
Criciúma, SC, 25 de maio de 2022.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



Prof. Dr. Eljido Angioletto

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



Prof. Dr. Jeane de Almeida do Rosário

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Aqueles em que deposito
meu amor e admiração, minha
família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo e me fortalecer em todos os momentos, independente das dificuldades.

Ao meu esposo Edgar Schmitz, aos meus pais, Jedson Cardozo e Vanéia Luiza Comin Cardozo e meu irmão Guilherme Comin Cardozo, por serem minha base e me apoiarem sempre com muito amor e carinho.

Ao meu orientador, Michael Peterson, e coorientadora, Elaine Guglielmi Pavei Antunes, pelo ensino e auxílio ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PPGCEM/UNESC, pelos conhecimentos compartilhados, e à Vivian, secretária do programa, pelos esclarecimentos acerca do regimento do Programa.

Aos laboratórios do Instituto de Engenharia e Tecnologia IDT/UNESC e seus funcionários e pesquisadores que colaboraram com os ensaios e caracterizações, especialmente ao Laboratório de Valoração de Resíduos (LabValora), ao Laboratório de Reatores e Processos Industriais (LabRePI) e ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC).

Aos colegas e amigos de pós-graduação, pela convivência e amizade.

Ao PROSUC - CAPES, Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Ensino Superior da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio financeiro.

À UNESC, por fornecer a estrutura e sua equipe de profissionais que contribuíram para o bom desenvolvimento deste trabalho.

“Procure a sabedoria e aprenda a escrever os capítulos mais importantes de sua história nos momentos mais difíceis de sua vida.”

Augusto Cury

RESUMO

A construção civil é responsável por grande parte do consumo de recursos naturais não renováveis extraídos do planeta. Com a intenção de reduzir impactos ambientais, uma das alternativas adotadas está na reutilização de materiais de outros setores de produção, como materiais orgânicos oriundos da agricultura. Dentre eles, o milho possibilita a produção de uma série de produtos, no entanto, nem todas as partes possuem uma aplicação direta e são descartadas de forma inadequada. Com base nisso, produziram-se placas de fibrocimento com sabugo de milho triturado, avaliando-o como agregado miúdo e como material para isolamento térmico. Os resíduos foram submetidos a um tratamento superficial com solução de hidróxido de sódio (NaOH) e inseridos na argamassa como substituição da areia em teores volumétricos de 5%, 7,5% e 10%. Devido à capacidade de absorção do sabugo de milho, definiu-se também a utilização de aditivo incorporador de ar em variadas porcentagens, de 0,2%, 0,3% e 0,4%, a fim de reduzir a necessidade de água nas misturas e verificar o comportamento das mesmas com aditivo e resíduo juntos. Além da caracterização do resíduo, realizaram-se ensaios físicos e mecânicos para as argamassas e para as placas de fibrocimento. A melhor composição de resistência à tração na flexão foi avaliada em um ensaio térmico a 60 °C, comparando-se com a amostra de referência. As análises demonstraram que o resíduo é composto principalmente por celulose e quando introduzido nas argamassas, reduziu o índice de consistência, mesmo com a inserção de aditivo. Em relação à referência, todas as argamassas com resíduo e aditivo apresentaram resultados de resistência mecânica inferiores, no entanto atenderam ao mínimo estabelecido em norma para a compressão e tração na flexão. Para as placas de fibrocimento com sabugo e incorporador de ar, observou-se uma redução de densidade de até 25% se comparado a placa convencional. A resistência à tração na flexão também apresentou-se reduzida, exceto para uma das composições (10% de sabugo e 0,3% de aditivo). No ensaio térmico a 60 °C, a mesma composição teve um desempenho satisfatório, pois a temperatura da placa em contato com o interior da estufa foi de aproximadamente 8 °C menor que a de referência.

Palavras-chave: Placas de fibrocimento. Argamassa. Sabugo de milho. Isolamento térmico.

ABSTRACT

Civil engineering is responsible for the largely expending of non-renewable natural resources on the planet. Taking that into consideration, reducing environmental impacts, an alternative adopted is in the reuse of materials from other production sectors, such as organic materials from agriculture. Among them, corn allows the production of a series of byproducts, however, not all parts have a direct application and are discarded inappropriately. Based on this, fiber cement boards were produced with crushed corn cob, evaluating it as a fine aggregate and as a material for thermal insulation. The residues were subjected to a surface treatment with sodium hydroxide solution (NaOH) and inserted into the mortar as a replacement for sand in volumetric contents of 5%, 7.5% and 10%. Due to the absorption capacity of the corn cob, the use of air-entraining additive was also defined in different percentages, from 0.2%, 0.3% and 0.4%, in order to reduce the need for water in the mixtures and verify their behavior with additive and residue together. In addition to the characterization of the residue, physical and mechanical tests were carried out for the mortars and fiber cement boards. The best composition of flexural tensile strength was evaluated in a thermal test at 60 °C, compared to the reference sample. The analysis showed that the residue is mainly composed of cellulose and when introduced into the mortars, it reduced the consistency index, even with the addition of an additive. In relation to the reference, all mortars with residue and additive showed lower mechanical strength results, however they met the minimum established in the standard for compression and flexural traction. For fiber cement boards with cob and air entrainment, a density reduction of up to 25% was observed when compared to conventional board. The flexural tensile strength was also reduced, except for one of the compositions (10% cob and 0.3% additive). In the thermal test at 60 °C, the same composition had a satisfactory performance, as the temperature of the board in contact with the interior of the dry heat oven was approximately 8 °C lower than the reference temperature.

Keywords: Fiber cement boards. Mortar. Corn Cob. Thermal insulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Partes que constituem o sabugo de milho.....	29
Figura 2 - Placas cimentícias.....	30
Figura 3 - Fluxograma das principais etapas.....	39
Figura 4 - Sabugo de milho triturado.....	39
Figura 5 - Tela de fibra de vidro.....	40
Figura 6 - Sabugo de milho pós tratamento.....	41
Figura 7 - Fluxograma dos ensaios de caracterização dos materiais. ...	42
Figura 8 - Imagens da (a) forma das placas, (b) mesa vibratória, (c) placa desmoldada e (d) placa cortada.....	48
Figura 9 - Fluxograma dos ensaios para argamassa.....	49
Figura 10 - Fluxograma dos ensaios para as placas cimentícias.....	51
Figura 11 - Ensaio térmico para placa cimentícia.....	56
Figura 12 - Difratogramas de raios X dos sabugos (a) não tratado e (b) tratado. Onde 1 - celulose.....	58
Figura 13 - Termogravimetria dos sabugos tratados e não tratados.....	59
Figura 14 - Limites e composições granulométricas dos sabugos tratados e não tratados.....	61
Figura 15 - Limites e composição granulométrica da areia.....	62
Figura 16 - Difratograma de raios X do cimento Portland. Onde 1 - calcita, 2 - silicato de alumínio, magnésio e cálcio e 3 - quartzo.....	63
Figura 17 - Absorção de água por capilaridade aos 90 minutos das argamassas.....	66
Figura 18 - Superfície de resposta para a absorção de água por capilaridade aos 90 minutos das argamassas.....	68
Figura 19 - Resistências à compressão e à tração na flexão das argamassas.....	69
Figura 20 - Superfície de resposta para resistência à compressão das argamassas.....	71
Figura 21 - Superfície de resposta para resistência à tração na flexão das argamassas.....	73
Figura 22 - Densidade aparente das placas.....	75
Figura 23 - Superfície de resposta para a densidade aparente.....	77
Figura 24 - Absorção de água das placas.....	78
Figura 25 - Superfície de resposta para a absorção de água das placas.....	80
Figura 26 - Variação dimensional das placas.....	81
Figura 27 - Resistência à tração na flexão das placas.....	83
Figura 28 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão das placas.....	84

Figura 29 - Imagens de MEV mostrando as cavidades ao redor do resíduo sabugo de milho, do (a) experimento 4 e do (b) experimento 6.	85
Figura 30 - Resultados do ensaio térmico para a placa de referência a.	89
Figura 31 - Resultados do ensaio térmico para a placa com resíduo e aditivo a 60 °C.....	89
Figura 32 - Fotos termográficas da placa (a) referência e (b) com resíduo a 60 °C ao final do ensaio.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos de resistência à tração na flexão.....	32
Tabela 2 - Peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal).	44
Tabela 3 - Matriz de dados do planejamento fatorial 3^k	47
Tabela 4 - Caracterização do sabugo de milho.....	57
Tabela 5 - Distribuição da composição granulométrica dos sabugos tratados e não tratados.....	60
Tabela 6 - Caracterização da areia.....	61
Tabela 7 - Distribuição da composição granulométrica da areia.....	62
Tabela 8 - Índice de consistência das misturas.....	64
Tabela 9 - Absorção de água (A_{10} e A_{90}) coeficiente de capilaridade (C) das argamassas.....	66
Tabela 10 - Análise de variância ANOVA para a absorção de água por capilaridade aos 90 minutos das argamassas.....	67
Tabela 11 - Resistência à compressão (R_c) das argamassas.....	69
Tabela 12 - Análise de variância ANOVA para a resistência à compressão das argamassas.....	70
Tabela 13 - Resistência à tração na flexão (R_f) das argamassas.....	72
Tabela 14 - Análise de variância ANOVA para a resistência à tração na flexão das argamassas.....	73
Tabela 15 - Densidade aparente (ρ_s) das placas.....	74
Tabela 16 - Análise de variância ANOVA para a densidade aparente das placas.....	76
Tabela 17 - Absorção de água (AA) das placas.....	77
Tabela 18 - Análise de variância ANOVA para a absorção de água das placas.....	79
Tabela 19 - Variação dimensional (V_d) das placas.....	81
Tabela 20 - Resistência à tração na flexão (R_f) das placas.....	82
Tabela 21 - Análise de variância ANOVA para a resistência à tração na flexão das placas.....	84
Tabela 22 - Resistência à tração na flexão das placas antes ($R_{f \text{ sem ciclo}}$) e após ciclos ($R_{f \text{ após ciclo}}$) de envelhecimento.....	86
Tabela 23 - Teste F: duas amostras para variância.....	87
Tabela 24 - Teste t: duas amostras considerando variâncias equivalentes.	87
Tabela 25 - Teste F: duas amostras para variância.....	92
Tabela 26 - Teste t: duas amostras considerando variâncias equivalentes.	93

Tabela 27 - Teste t: duas amostras presumindo variâncias não equivalentes..... 93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ATD	Análise Térmica Diferencial;
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social;
CECAM	Laboratório de Caracterização de Materiais;
CerTec	Laboratório de Cerâmica Técnica;
DRX	Difração de Raios X;
DTP	Distribuição de Tamanho de Partículas;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IDT	Instituto de Engenharia e Tecnologia;
I.PARQUE	Parque Científico e Tecnológico;
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil;
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura;
NBR	Norma Brasileira;
PIB	Produto Interno Bruto;
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial;
TG	Termogravimetria

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Absorção de água argamassa
AA	Absorção de água placas
b	Largura dos corpos de prova
e	Espessura média (mm).
°C	Grau Celsius
C	Coefficiente de capilaridade
cm	Centímetros
d	Massa específica do agregado
F	Força máxima obtida no ensaio
g	gramas
K	Kelvin
Kg	Quilograma
l	Dimensão do vão entre apoios
li	Comprimento inicial
lf	Comprimento final
m	Massa da amostra seca em estufa
m ₀	Massa inicial do corpo de prova
m ₁	Massa do conjunto frasco e agregado
m ₁₀	Massa do corpo de prova aos 10 minutos
m ₂	Massa total frasco, agregado e água
m ₉₀	Massa do corpo de prova aos 90 minutos
m _{ar}	Massa do recipiente mais o agregado
m _i	Massa da amostra saturada imersa em água
m _f	Massa final seca
m _r	Massa do recipiente vazio
m _s	Massa da amostra na condição saturada superfície seca
m _{sat}	Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura
m _t	Massa do corpo de prova para cada tempo
n	Número de peças da amostra
N	Newtons
p	Fator multiplicativo em função da altura da peça
P	Carga de ruptura
R _f	Resistência à tração na flexão
R _c	Resistência à compressão das peças
S	Desvio padrão da amostra
V	Volume do frasco / recipiente /corpo de prova
V _a	Volume de água adicionada ao frasco
v	Variação dimensional

W	Watt
ρ_a	Massa específica da água
ρ_{ap}	Massa unitária do agregado
ρ_s	Massa específica da amostra seca
σ_t	Resistência à tração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 OBJETIVOS	25
2.1 OBJETIVO GERAL	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
3.1 INDÚSTRIA DO MILHO E PERSPECTIVAS DO MERCADO ..	27
3.1.1 Resíduos da indústria do milho	27
3.1.2 Sabugo de milho e suas aplicações	28
3.2 PLACAS CIMENTÍCIAS	30
3.2.1 Normatização	31
3.2.2 Resistência mecânica	32
3.2.3 Absorção e permeabilidade de água	33
3.2.4 Variação dimensional por umidade e temperatura	33
3.2.5 Durabilidade das placas	34
3.3 INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS EM MATRIZ CIMENTÍCIA	35
3.4 DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES	36
4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	39
4.1 MATERIAIS	39
4.2 MÉTODOS	40
4.2.1 Preparação dos materiais	40
4.2.2 Caracterização dos materiais	41
4.2.3 Definição dos traços e dosagem	45
4.2.4 Produção das misturas	47
4.2.5 Confecção dos corpos de prova e das placas de fibrocimento	48
4.2.6 Ensaio da argamassa	49
4.2.7 Ensaio das placas cimentícias	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	57
5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS	64
5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS DE FIBROCIMENTO	74
5.3.1 Ensaio de durabilidade por ciclagem	86
5.3.2 Ensaio térmico	88
5.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	91
6 CONCLUSÃO	97
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	99
REFERÊNCIAS	100

APÊNDICE(S).....	115
APÊNDICE A – Tabela de Absorção de água e coeficiente de capilaridade das argamassas.....	116
APÊNDICE B – Resistência à compressão das argamassas.....	118
APÊNDICE C – Resistência à tração na flexão das argamassas....	120
APÊNDICE D – Densidade aparente das placas.....	121
APÊNDICE E – Absorção de água das placas	123
APÊNDICE F – Variação dimensional das placas.....	125
APÊNDICE G – Resistência à tração na flexão das placas	127
APÊNDICE H – Durabilidade por ciclos de imersão e secagem das placas.....	128

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é responsável por grande parte do consumo dos recursos naturais extraídos do planeta. Com isso, a utilização de resíduos como matéria-prima pode vir a reduzir a quantidade de recursos naturais retirados do meio ambiente. Os resíduos não reciclados são depositados em aterros sanitários que ocupam espaços cada vez mais valorizados, especialmente aqueles próximos aos grandes centros urbanos (FARIA, 2020).

A utilização de materiais sustentáveis na produção de elementos construtivos é uma alternativa para redução do impacto ambiental gerado pela construção civil, que apresenta alguns indicadores preocupantes não apenas pelo consumo de recursos não renováveis, mas também com gasto energético e geração de resíduos sólidos (SANTOS et al., 2017).

Muitos pesquisadores têm concentrado esforços no estudo do potencial da aplicação de materiais orgânicos na construção civil, o aproveitamento de subprodutos agrícolas é de grande interesse. Dentre os materiais orgânicos, o milho é produzido principalmente para a alimentação animal. O grão, por exemplo, possibilita a produção de uma série de produtos industrializados. Entretanto, algumas partes da planta não possuem uso direto, como o sabugo de milho, e nesse caso, são subutilizados ou mesmo jogados no meio ambiente (ROSA, 2020).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022), a produção de grãos na safra 2022/2023, em fase de colheita, apresentou uma produção com estoque final de aproximadamente 126 milhões de toneladas, com um acréscimo de aproximadamente 12% em comparação à safra passada.

Atualmente, o sabugo do milho vem se destacando como potencial matéria-prima. Este material lignocelulósico apresenta vantagens sobre muitas matérias-primas concorrentes. O sabugo apresenta características como elevado poder calorífico, é denso e relativamente uniforme, além de possuir baixos teores de nitrogênio e enxofre (ANUKAM; GOSO; OKOH; MAMPHWELI, 2017).

Visando um destino para os rejeitos da indústria do milho, uma opção é a sua aplicação como matéria prima na construção civil. Painéis e placas cimentícias são alguns exemplos de produtos de construção que podem ser processados usando esses materiais orgânicos como possíveis soluções alternativas de isolamento térmico com baixa densidade (PINTO, 2012).

As placas cimentícias, são argamassas armadas, que apresentam uma formatação mais rígida, com dimensões que podem variar de 6 mm a 30 mm de espessura. Podem ser aplicadas na confecção de paredes internas e externas (pequenos acabamentos ou até mesmo *steel frame*), para revestimentos (forros e divisórias simples), brises, entre outros. Apresentam vantagens, como a facilidade de manuseio e moldagem, e com a adição de resíduos como o sabugo de milho, tendem a desempenhar um comportamento superior quanto à densidade e conforto térmico (AZEVEDO, 2018).

Nesse contexto, pelo presente trabalho, busca-se avaliar as propriedades mecânicas, físicas e térmicas a partir do reaproveitamento do sabugo de milho triturado como substituição parcial do agregado miúdo em placas cimentícias, visando a produção de materiais alternativos e sustentáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as propriedades mecânicas, físicas e térmicas a partir do reaproveitamento do sabugo de milho triturado como substituto parcial do agregado miúdo em argamassas para fabricação de placas cimentícias.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os percentuais de substituição do agregado miúdo pelo resíduo na argamassa utilizada para fabricação das placas;
- Determinar diferentes teores de aditivos para as misturas de argamassas utilizadas nas placas;
- Avaliar o desempenho mecânico e físico das argamassas com diferentes teores de resíduo;
- Verificar a influência do resíduo nas placas de acordo com as normas técnicas brasileiras, quanto ao seu uso, durabilidade e isolamento térmico.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 INDÚSTRIA DO MILHO E PERSPECTIVAS DO MERCADO

Dentre as culturas de grãos, o milho é um dos mais importantes e cultivados devido a sua área de ocupação e valor econômico gerado. Trata-se de uma planta anual cultivada em quase todos os continentes com grande importância no mundo devido a sua elevada produtividade e variedade de aplicação, como na alimentação humana, animal, *in natura* e como biocombustível (FORSTHOFER et al., 2006, CONAB, 2020).

Segundo a *United States Department of Agriculture* (USDA, 2018), os três principais produtores de milho do mundo são os Estados Unidos, a China e o Brasil. No Brasil, o milho é um dos produtos agrícolas de maior abrangência nacional, sendo cultivado principalmente no centro-sul do país com uma concentração de aproximadamente 90,9%, na qual destacam-se o norte do Paraná, o Triângulo Mineiro, o oeste de São Paulo e o Vale do Taquari, no Rio Grande do Sul (ABIMILHO, 2019).

O milho tem participação com mais de 36,4% da produção nacional de grãos se posicionando logo atrás da soja (44,7%), culturas estas que, juntas, somam mais de 80% da produção nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas, na qual a região Sul tem uma participação de 27,6% (IBGE, 2018).

Esse cereal representa cerca de 40% do atual volume produzido de grãos e 28% da área plantada no Brasil, sendo o mais forte insumo do setor de criação animal, principalmente na alimentação de aves e suínos. A estimativa nacional de plantio do milho, considerando a primeira, segunda e terceira safras, na temporada 2019/2020, apresentou uma área de 18,5 milhões hectares e uma produção recorde de aproximadamente 103 milhões de toneladas. Aproximadamente, 59% da produção de milho no país destinam-se à alimentação animal, 28% às exportações, 7,5% ao consumo industrial e 3% ao consumo humano, sendo o restante destinado a outros setores (CONAB, 2020).

3.1.1 Resíduos da indústria do milho

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), os resíduos sólidos agrícolas são aqueles gerados por atividades agropecuárias e classificados quanto à composição como orgânicos, estes devem ter uma destinação ambientalmente adequada. A NBR 10004

(2004) classifica os resíduos sólidos conforme seus riscos ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados de forma adequada. O sabugo de milho é classificado como Resíduos Classe II A, não inertes, que podem ter propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Atualmente, há um aumento da preocupação com o descarte dos resíduos lignocelulósicos, que podem levar a problemas ambientais pela presença de substâncias de alto valor orgânico, perdas de biomassa e energia, além de potenciais fontes de nutrientes para microrganismos (OLIVEIRA, 2015).

Segundo Ferreira (2017), uma das culturas geradoras de resíduos no país é a cultura do milho, produzido para a alimentação. Os grãos são destinados a uma série de produtos industrializados, entretanto, partes da planta não possuem uma aplicação final, como espiga (sabugo), caule, cascas e palha (UNPINIT et al., 2015). Dentre os resíduos mencionados, aproximadamente 40% correspondem somente ao sabugo de milho (MIRANDA, 2018).

Parte do resíduo do milho é aproveitado na produção de ração animal ou em fornalhas para geração de calor. O sabugo de milho, quando produzido em grandes quantidades por vezes é inadequadamente descartado, através da queima do mesmo (SOUZA, 2019). Sabugos de milho quando queimados em determinados locais poluem o ar e as sobras do processo de queima contaminam o solo e a água (FERREIRA et al., 2010).

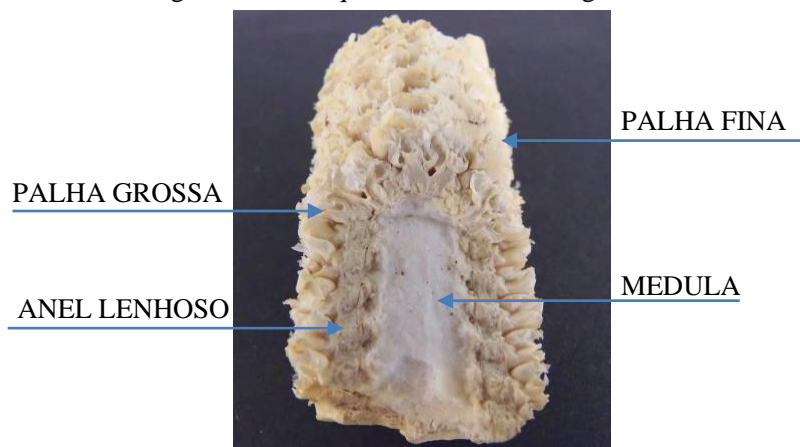
3.1.2 Sabugo de milho e suas aplicações

Segundo Santos (2014), o sabugo é o resíduo gerado após o milho ser debulhado, localizado na parte central onde os grãos ficam presos, geralmente utilizado para produção de ração animal, sendo constituído basicamente por hemicelulose (34,7%), celulose (31,7%) e lignina (20,3%), além de proteínas, açúcares simples, lipídeos, amido, água, hidrocarbonetos e outros compostos.

O sabugo de milho é definido a partir de quatro partes distintas: a palha fina, palha grossa, anel lenhoso e medula. A palha fina constitui a parte externa do sabugo, a palha grossa trata-se de uma camada interna à palha fina, o anel lenhoso está localizado no interior envolvendo a medula e o núcleo central (SOUZA, 2019). Segundo Ramos (2013) e Souza (2019), a palha fina corresponde a 4,1% do peso do sabugo, a palha grossa

33,7%, o anel lenhoso 60,3% e a medula 1,9% do peso total do sabugo de milho, conforme Figura 1.

Figura 1- Partes que constituem o sabugo de milho.



Fonte: Ramos (2013).

Este resíduo lignocelulósico da agroindústria, é biodegradável, possui baixa densidade, apresenta características de dureza e resistência à abrasão, é proveniente de fonte renovável e pode ser coletado durante a safra de grãos de milho, não competindo com a produção de alimentos. Sua utilização em aplicações mais nobres promove benefícios econômicos para a comunidade rural e a sociedade como um todo (SILVA, 2016).

A partir das características aplicáveis do sabugo, o mesmo pode ser empregado em indústrias de diversas áreas. O sabugo de milho apresenta significativa utilidade como suporte para produtos químicos, na produção de plásticos, compostos de borracha, colas adesivas, pneus, entre outros. Pode ser empregado também no tratamento de efluentes, na adsorção de compostos orgânicos provenientes da extração de petróleo (SANTOS, 2007). É utilizado como polidor ou abrasivo em produtos de limpeza, bem como na fabricação de tijolos e cerâmicas. Também é aproveitado como veículo de vitaminas em veterinária e ração animal, alimentação bovina, fonte de fibras para dietas de ruminantes, e na confecção de feno e adubo (KAZIENKO, 2009; MELO, 2010; TSENG, 2005).

Na indústria da construção civil, tem se tornado recorrentes os estudos para aplicação do resíduo de sabugo de milho em variados materiais, já que o mesmo pode apresentar propriedades vantajosas para o setor. A inserção do sabugo de milho na fabricação de concreto leve, produção de painéis aglomerados e como material suplementar para a produção de concreto verde, tem sido algumas das abordagens de estudo desse resíduo (LUHAR, 2019; PINTO, 2012; SCATOLINO, 2013).

3.2 PLACAS CIMENTÍCIAS

Placas cimentícias, de acordo com a ABNT NBR 15498 (2016), são produtos resultantes da mistura de cimento *Portland*, agregados, adições ou aditivos com reforço de fibras, fios, filamentos ou telas, com exceção de fibras de amianto.

O desenvolvimento destas placas, Figura 2, remonta aos anos 1970, mas só começaram a ser utilizadas em maior escala depois do desenvolvimento de tecnologia e avanço da chamada construção a seco (AKHAVAN et al, 2017).

Figura 2 - Placas cimentícias.



Fonte: Brasilit (2020).

Segundo Nakamura (2012), as placas cimentícias são sistemas de vedação muito utilizados no hemisfério Norte, como divisórias, forros e como opção de fechamento de áreas molháveis. A grande precisão dimensional e a possibilidade de executar juntas invisíveis fizeram com que os placas cimentícias chegassem às fachadas, sobretudo em

associação com o *light steel framing* (estrutura com perfis leves de aço) e com *wood framing* (estrutura com perfis de madeira).

A história desse material no Brasil, ainda é recente quando comparado a países com a predominância de construções a seco. As primeiras placas começaram a ter uso como forros de beirais e somente na última década as empresas brasileiras passaram a investir na produção industrial de placas cimentícias (NAKAMURA, 2012).

Conforme Hofmann (2015), há três tipos de placas cimentícias:

- Com cimento Portland, agregados leves, reforçados com telas de fibra de vidro.

- Com Cimento Reforçado com Fios Sintéticos (CRFS).

- Com Concreto Reforçado com Fibras de Vidro.

Entre as vantagens do uso das placas cimentícia pode-se destacar seu custo em comparação com outras metodologias de vedação, facilidade de fabricação e manuseio, propriedades mecânicas e físicas eficientes, além de oferecer relativa redução de manutenção, menor geração de resíduos e compatibilidade com a maioria dos acabamentos (AFONSO, 2019).

3.2.1 Normatização

No Brasil, as placas planas cimentícias são normatizadas, desde 2007, conforme a ABNT NBR 15.498 – Placa de fibrocimento sem amianto: requisitos e métodos de ensaio, que estabelece os requisitos, os métodos de ensaio e as condições de recepção de placas cimentícias reforçadas com fios, filamentos ou telas. Esta norma segue como uma especialização creditada a partir da norma NBR 15575 – Norma de desempenho – Parte 04 (Vedações Verticais).

De acordo com ABNT NBR 15498 (2016), as placas de fibrocimento podem ser classificadas e é obrigação dos fabricantes indicar a classe e categoria a que pertencem as placas. As classificações são divididas em duas categorias: classe A e classe B. As placas da classe A são indicadas para aplicações externas sujeitas à ação direta de chuva, sol, calor e umidade. As placas pertencentes a classe B, são indicadas para aplicações internas e aplicações externas não sujeitas à ação direto do sol, chuva, umidade e calor. A Tabela 1 mostra as categorias das placas existentes, com base na classificação de resistência à tração na flexão.

Tabela 1 – Requisitos de resistência à tração na flexão.

Categoria	Placa de Classe A (MPa)	Placa de Classe B (MPa)
1	-	4
2	4	7
3	7	10
4	13	16
5	18	22

Fonte: ABNT NBR 15498 (2016).

Ainda conforme a NBR 15498 (ABNT, 2016), as placas de fibrocimento devem ter espessuras nominais de até 30 mm, já que as superiores não são abrangidas pela norma. Sobre os requisitos quanto as dimensões e formas do produto, as tolerâncias das dimensões nominais (comprimento e largura) das placas classe A e classe B são ± 2 mm/m e a tolerância de espessura é $\pm 10\%$ de variação da determinada do produto. Já as tolerâncias de linearidade das bordas são de 3 mm/m para a dimensão considerada (comprimento e largura) e a tolerância do esquadro é de 4 mm/m, conforme método da norma.

Se tratando de características físicas, as mesmas são avaliadas quanto a porosidade, absorção de água, inflamabilidade, densidade e expansão por absorção de água, com seus resultados referenciando sua finalidade de emprego, devendo ser fornecido junto com as placas. Para desempenho mecânico, testes de resistência à flexão são exigidos, sendo que a condição de uso da placa, ou seja, se o material será empregado em ambiente interno ou externo, define o tipo de tratamento que o corpo de prova terá para ser ensaiado. Entretanto, independente do emprego, estas devem ser testadas em condições de degradação acelerada (envelhecimento acelerado), a fim de se avaliar o desgaste do material em função das intempéries (NBR 15498, 2016; SALES, 2016).

3.2.2 Resistência mecânica

Para a aplicação da placa como um produto comercial necessita-se de um rigoroso conhecimento das propriedades no que diz respeito à resistência mecânica, seja no estado de equilíbrio, que é a temperatura ambiente, ou no estado saturado, exposta ao efeito de água (AZEVEDO,

2018). O ensaio de resistência à tração na flexão é o indicado neste caso, conforme prescreve a ABNT NBR 15498 (2016). A norma ainda explicita as condições de ensaio em equilíbrio e saturado para os corpos de prova.

A carga de ruptura utilizada está relacionada com as dimensões das placas, incluindo se são armadas ou não. O módulo de resistência, no entanto, está ligado ao material no qual ela é constituída (SPEK, 2014).

A partir da análise de diagramas de esforços solicitantes de placas, é possível notar a existência de região de momento fletor máximo coincidente com a região de esforço cortante nulo, no trecho central da placa, nesta região encontra-se a chamada flexão pura. Portanto, faz-se necessária a adoção de algum tipo de auxílio para melhorar o desempenho mecânico das placas, através de reforço de fibras naturais ou estruturas em telas metálicas (PEKMEZCI, 2015).

3.2.3 Absorção e permeabilidade de água

A absorção trata-se do transporte de líquidos em um sólido poroso devido à tensão superficial que atua nos capilares. A permeabilidade de um compósito é definida como a taxa de fluxo de um fluido através de seus poros, quando uma pressão é aplicada (BASHEER *et al.*, 2001; CLAISSE, 2014).

O volume ocupado pelos poros de uma matriz cimentícia, que não deve ser confundido com permeabilidade, é o medido pela absorção, que pode ser feito secando-se uma amostra até a constância de massa e após isso imergir a mesma em água, determinando o acréscimo de massa, expressa em porcentagem de massa seca (NEVILE, 1997; AZEVEDO, 2018).

Elevados valores de absorção ou permeabilidade de água podem influenciar diretamente na durabilidade do material, pois permitem a passagem de fatores externos, como a água ou CO₂, além do transporte de agentes agressivos para o interior da massa cimentícia. Logo espera-se um controle desta propriedade dentro de parâmetros de uso das mesmas (MARTINS *et al.*, 2018).

3.2.4 Variação dimensional por umidade e temperatura

Apesar da aparência de estabilidade, produtos de fibrocimento sofrem mudanças físicas e químicas quando expostos a condições climáticas naturais ou mesmo quando estocados em pilhas nos depósitos

(AKERS, 2010). A absorção de umidade e a temperatura, são alguns dos fatores que influenciam na variação dimensional de placas de fibrocimento (BONFOGO, 2018).

Conforme Akers (2010), relativo à sua estabilidade dimensional, compósitos à base de cimento expostos às condições naturais podem tanto absorver quanto perder água através de um complexo mecanismo entre seus poros. Esta absorção e perda de água levam a uma significativa variação dimensional do material que, quando submetido a condições de fixação e contorno que restrinjam esta variação, geram tensões sobre o material que pode levá-lo ao colapso.

Enquanto a variação de umidade é capaz de proporcionar a maior amplitude de variação em relação à dimensão inicial da placa cimentícia, tal mudança quando influenciada pela temperatura pode ocorrer com uma velocidade muito mais rápida, o que aumenta o risco de fissuração. A situação crítica em que este fenômeno pode ocorrer é a situação de choque térmico, ou seja, quando após um período de forte insolação, que pode fazer com que a superfície do revestimento atinja entre 70 e 80 °C, ocorra uma chuva intensa ± 20 °C provocando uma queda da temperatura superficial entre 50 e 60 °C em poucos minutos (TEMOCHE, 2009).

Um fator que contribui para que esta taxa seja mais significativa nas placas cimentícias do que em uma vedação de alvenaria é a massa relacionada à área sobre a qual incidirá a radiação solar. Uma placa cimentícia possui uma densidade aparente entre 10,2 kg/m³ a 20,4 kg/m³, conforme a espessura do material (BRASILIT, 2019; ETERNIT, 2020), tais valores são relativamente muito inferiores aos apresentados por uma vedação constituída de alvenaria de blocos de cimento ou cerâmicos, entre 150 a 200 kg/m³ (PAULUZZI, 2015).

Quanto maior for a massa de uma vedação, haverá uma maior necessidade de energia para que a temperatura se altere em um determinado valor, o que significa que deverá ficar exposta por um tempo mais longo. Inversamente, quando esta vedação for constituída por pouca massa, como é o caso das placas em discussão, a temperatura se alterará com menor quantidade de energia, ou seja, em um intervalo de tempo muito menor (FONTANELLE, 2012).

3.2.5 Durabilidade das placas

Parâmetros de durabilidade, não apenas de resistência dos materiais, são determinantes para o seu bom emprego e uso na construção

civil. Essa propriedade pertence ao estado endurecido do material e é analisada durante o período de uso do revestimento, em relação ao desempenho diante das ações do meio externo com o decorrer do tempo. A fissuração, a espessura excessiva, a proliferação de microrganismo, e a falta de manutenção periódica afetam diretamente a durabilidade (SABBATINI, 2008).

Para as placas cimentícias, a durabilidade é o ponto de inflexão, devido à sucessibilidade de seus componentes a processos de degradação por intemperismo ou por ação química, como ataque de agentes alcalinos através da percolação de água nos poros (CALISTER; RETHWISCH, 2016).

A água é um agente de degradação diferencial em um composto, sua ação se dá tanto pela dissolução de íons alcalinos nos poros, como os de hidróxido de cálcio no cimento Portland, como pela lixiviação de componentes no interior da matriz, neste caso reduzindo por exemplo a adesão de materiais incorporados à placa com a matriz cimentícia. A água ainda é responsável por processos de degradação relacionados a ciclos de imersão e secagem, que forcem a variação de volume do material, bem como com o transporte dos íons solubilizados, e de ciclos de temperatura do material úmido, que também forcem uma variação quanto à dimensão do material (SAVASTANO, 2000; SILVA, 2002).

3.3 INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS EM MATRIZ CIMENTÍCIA

As matrizes cimentícias são compostas de aglomerantes minerais, podendo conter agregados, que dão origem a pastas, argamassas ou concretos. As matrizes mais utilizadas são aquelas à base de cimento Portland, a cal e o gesso (SILVA, 2012).

Em contato com a água, o cimento Portland inicia sua hidratação num processo complexo, que envolve diversas reações químicas simultâneas e sucessivas. O progresso da hidratação pode ser influenciado por diversos fatores como: a composição e granulometria do cimento, a relação água/cimento, a temperatura de cura e presença de misturas ou aditivos na pasta (HEWLETT, 2003). A adição de outro material pode influenciar na magnitude e no tempo de reação, além da resistência final do material (ROCHA, 2019).

A utilização de materiais lignocelulósicos em matrizes cimentícias pode contribuir para a diminuição da densidade (KHOARAMI;

GANJIAN, 2013, ROSA, 2019), o controle do início e da propagação de microfissuras (TONOLI et al, 2013) e a melhoria das propriedades térmicas (PINTO, 2012, CORINADELSI; MAZZOLI; SIDDIQUE, 2016).

Em seu trabalho, Faria (2020) avaliou o comportamento físico e mecânico do concreto com adição de resíduos de sabugo de milho na proporção de 3% da massa de areia, comparando com o concreto convencional. Os sabugos de milho foram triturados, peneirados conforme a granulometria da areia, e substituídos no concreto. O traço utilizado, em massa, foi o de 1: 2,5: 2,5: 0,72 (cimento: areia: brita: água). A substituição do agregado miúdo pelo resíduo apresentou redução nos resultados de resistência média, mas não descaracterizou o potencial promissor do resíduo de sabugo de milho como matéria-prima alternativa para uso em concretos não estruturais.

No entanto, um obstáculo na interação biomassa e cimento, é a incompatibilidade entre os mesmos. Em meio ao processo de formação do compósito os resíduos vegetais influenciam diretamente no processo de hidratação do cimento, geralmente de forma negativa. Os extrativos presentes nos resíduos, em especial aqueles solúveis em água, retardam a pega e dificultam o endurecimento da mistura (STANCATO et al, 2006). Para tal, o tratamento ou a modificação desses materiais é uma estratégia que deve ser aplicada para aumentar a durabilidade antes do contato com a matriz cimentícia. Através de tratamentos químicos, ácidos, hidrotérmicos, entre outros (SÁ; BIANCHINI, 2015), é possível a modificação física ou química da fibra vegetal com objetivo de otimizar a adesão entre matriz e resíduo, tornando-os menos sensíveis à composição da matriz e da umidade do ambiente (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015).

3.4 DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

Os conceitos de desempenho aplicados a edificações requerem uma visão integrada de projeto, buscando sustentabilidade, um maior ciclo de vida na construção, economia de energia e uma construção mais durável (MEIRELLES et al, 2013).

As condições climáticas se alteram para locais distintos. A escolha dos materiais construtivos está relacionada a questões de resistência mecânica, de segurança e econômicas, deixando-se muitas vezes as questões de desempenho térmico para um plano secundário. Os custos de

aquecimento, no inverno, e refrigeração, no verão, são muito elevados. Um dos grandes desafios é o de melhorar o desempenho energético dos edifícios, considerando, além desse critério, a crescente ênfase social dada às questões ambientais, a eliminação de resíduos, e ao esgotamento dos recursos não-renováveis (MATI-BAUCHE et al., 2014).

Segundo Costa et al (2013), os edifícios utilizam 40% da energia global e emitem mais de 30% do dióxido de carbono, e grande parte desta fração está relacionada ao conforto térmico dos usuários. A maior parte da energia consumida em edifícios é usada para aquecimento e resfriamento e essas cargas estão fortemente ligadas ao nível de isolamento que envolve a edificação (PÁSZTORY et al., 2018).

Ressalta-se que os revestimentos de argamassa convencionais podem ser responsáveis por até 30% do isolamento térmico do sistema de vedação, a depender da sua espessura e composição, bem como das características da parede de vedação. Logo, uma alternativa para reduzir o consumo de energia é envolver as construções com materiais isolantes térmicos ou incorporá-los em elementos expostos à radiação solar (PASSOS; CARASEK, 2018).

De acordo com Asdrubali et al. (2015), os materiais geralmente usados no isolamento de edificações, são de origens petroquímicas, como o poliestireno, ou de origens naturais, como a lã de rocha e lã de vidro, no entanto, em seus processos de fabricação consomem grande quantidade de energia. A criação de materiais alternativos para isolamento térmico que sejam ecologicamente corretos é uma preocupação constante, surgindo assim a ideia de utilizar materiais naturais, que sejam renováveis e que se encontrem com maior facilidade e abundância no meio ambiente (SPINELLI; CARNEIRO; PASQUALI; PITOL; CAMBEIRO; KONRAD, 2020).

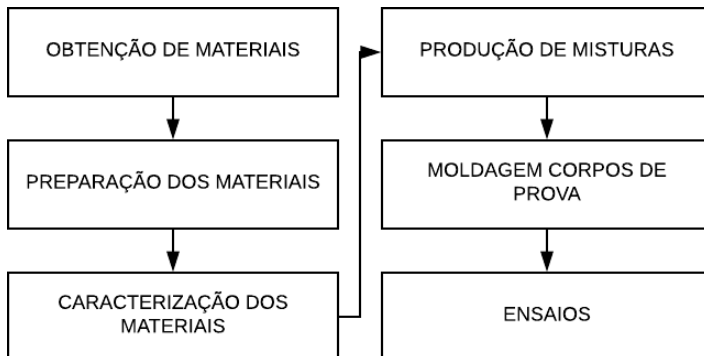
Rosa (2019), elaborou três compósitos à base de sabugo de milho e resina oriunda do óleo de mamona para fins de isolamento térmico, com diferentes granulometrias, denominados A (26,25% moído grosso + 26,25% moído fino + 47,50% de resina), B (26,25% moído fino + 13,10% moído grosso + 13,10% moído médio + 47,50% de resina) e C (26,25% moído fino + 26,25% moído médio + 47,50% de resina). Os três compósitos apresentaram resultados positivos quanto ao uso do material como isolante térmico, já que para os mesmos obteve-se valores de $0,114a \pm 0,05$ W/(m.K), $0,113a \pm 0,02$ W/(m.K) e $0,107a \pm 0,02$ W/(m.K), respectivamente, sendo que a condutividade térmica indicada é inferior a $0,21$ W/(m.K).

Pinto (2016) também produziu três produtos à base de sabugo de milho, sendo eles um aglomerado (estudo de caso I), um concreto leve para fins não estruturais (estudo de caso II) e uma unidade de alvenaria de concreto leve (estudo de caso III). Esses produtos foram estudados em termos de desempenho térmico e alguns parâmetros térmicos são fornecidos. Os resultados obtidos através do estudo experimental permitiram estimar a condutividade térmica do sabugo de milho granulado e dos painéis de partículas de sabugo granulado. Os valores obtidos foram 0,058 e 0,101 W/m °C, respectivamente. Um coeficiente de transmissão térmica de 1,99 W/m °C foi obtido para o concreto leve não estrutural em sabugo de milho, e concluiu-se que a densidade e as propriedades térmicas desta solução alternativa estão de acordo com as propriedades do concreto de argila expandida usado atualmente. Para a unidade de alvenaria de concreto leve de sabugo de milho granulado, foi estimado um valor de 1,15 W/m °C. Tais resultados mostraram que o resíduo agrícola em questão pode ter potencial como produto de isolamento térmico.

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As principais etapas para realização da pesquisa estão apresentadas no fluxograma, conforme Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma das principais etapas.



Fonte: Do Autor, 2022.

4.1 MATERIAIS

Os sabugos utilizados na pesquisa, apresentados na Figura 4, foram obtidos de uma empresa de São Paulo/SP. O resíduo foi fornecido triturado com dimensões entre 1,6 mm e 2 mm.

Figura 4 - Sabugo de milho triturado.



Fonte: Do autor, 2022.

A argamassa utilizada neste trabalho para produção das placas cimentícias, é aquela constituída de cimento e agregado miúdo. Para a produção foram empregados na mistura, o cimento CP II Z 32, areia média lavada fornecida pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) pertencente ao Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT/UNESC) e aditivo incorporador de ar Alvenarit, com densidade de $1,03\text{g/cm}^3$.

Para a elaboração das placas cimentícias, utilizou-se tela de fibra de vidro álcali resistente para reforço, com malha quadrada de 4 mm e densidade de 150 g/m^2 (Figura 5).

Figura 5 - Tela de fibra de vidro.



Fonte: Do autor, 2022.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Preparação dos materiais

Substâncias presentes em materiais lignocelulósicos como hemicelulose, açúcares, fenóis, entre outros extrativos, podem inibir o processo de hidratação do cimento. A remoção dessas substâncias pela ação de soluções aquosas ou imobilização das mesmas, pode melhorar a compatibilidade do material com o cimento (BERALDO, 2006). Para tal, com base nos estudos de Moubarik et al. (2013), primeiramente os resíduos de sabugo de milho foram pré-tratados em água quente a $70\text{ }^\circ\text{C}$ por 2 horas e lavados com água destilada para remover parte dos componentes estranhos, como açúcares e extrativos. Posteriormente, foram imersos em

uma solução aquosa de 15% de hidróxido de sódio (NaOH) diluídos em 4 L de água para cada 1 kg de resíduo. Em seguida, os resíduos imersos na solução foram colocados em banho maria, a uma temperatura de 100 °C durante um período de 90 min. Após o tratamento, lavou-se o material com água deionizada e o mesmo foi seco em estufa a 105 °C por 24 horas (Figura 6).

Figura 6 - Sabugo de milho pós tratamento.

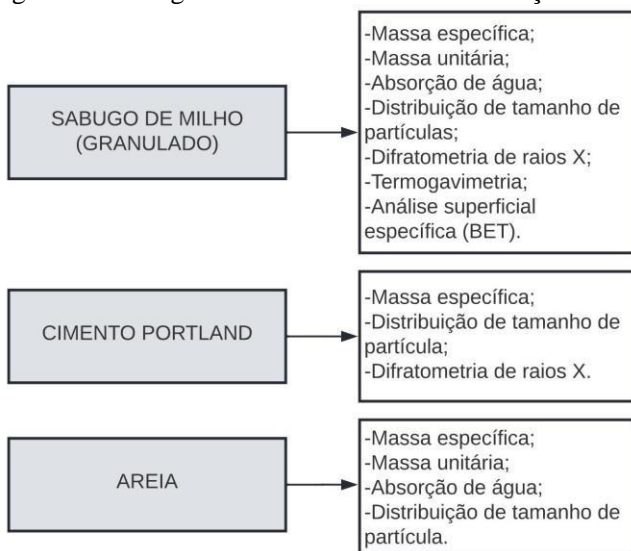


Fonte: Do autor, 2022.

4.2.2 Caracterização dos materiais

Os ensaios de caracterização aplicados no resíduo triturado, cimento e areia encontram-se no fluxograma conforme Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma dos ensaios de caracterização dos materiais.



Fonte: Do autor, 2022.

A massa específica da areia foi determinada no LMCC/IDT/UNESC segundo a ABNT NBR NM 52 (2009), calculada através das Equações 1 e 2.

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (1)$$

Onde

V_a : Volume de água adicionada ao frasco (cm^3);
 m_1 : Massa do conjunto (frasco + agregado) (g);
 m_2 : Massa total (frasco + agregado + água) (g) e
 ρ_a : Massa específica da água (g/cm^3).

$$d = \frac{m}{(V - V_a)} = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (2)$$

Onde

d: Massa específica do agregado (g/cm^3);

m: Massa da amostra seca em estufa (g);

V: Volume do frasco (cm^3) e

m_s : Massa da amostra na condição saturada superfície seca (g).

A massa específica do cimento, foi determinada segundo a ABNT NBR 16605(2017) por meio da Equação 3.

$$\rho = \frac{m_m}{V_d} \quad (3)$$

Onde

ρ : Massa específica do material (g/cm^3);

m_m : Massa do material (g) e

V_d : Volume deslocado pela massa do material (cm^3).

Para o resíduo, realizou-se a massa específica em um picnômetro Quantachrome Ultrapyc 1200e a gás hélio no Laboratório de Cerâmica Técnica (CerTec) do IDT/UNESC.

Determinou-se a massa unitária do resíduo e da areia, conforme ABNT NBR NM 45 (2006), no LMCC/IDT/UNESC pela Equação 4.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (4)$$

Onde

ρ_{ap} : Massa unitária do agregado (kg/m^3);

m_{ar} : Massa do recipiente mais o agregado (kg);

m_r : Massa do recipiente vazio (kg) e

V: Volume do recipiente (m^3).

A absorção de água para o agregado miúdo e o resíduo triturado foi estimada de acordo com a ABNT NBR NM 30 (2001) no LMCC/IDT/UNESC e calculadas com a Equação 5.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (5)$$

Onde

A: Absorção de água (%).

A distribuição da composição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura foram realizados conforme a ABNT NBR NM 248 (2003), para a areia e o resíduo no LMCC/IDT/UNESC.

Para determinação, as amostras foram secas em estufa a (105 ± 5) °C por um período de 24 horas. Após o resfriamento, foram colocados 1.000 gramas em porções na peneira superior do conjunto apresentado na Tabela 2, que passou por um processo de agitação mecânica, sendo determinadas as massas retidas em cada malha.

Tabela 2 - Peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal).

Série normal (mm)	Série intermediária (mm)
75	-
-	63
-	50
37,5	-
-	31,5
-	25
19	-
-	12,5
9,5	-
-	6,3
4,75	-
2,36	-
1,18	-
0,60	-
0,30	-
0,15	-

Fonte: ABNT NBR NM 248 (2003).

A dimensão máxima característica e o módulo de finura foram estimados de acordo com as definições estabelecidas pela norma, a qual indica que a dimensão máxima do agregado corresponde à abertura

nominal da malha da peneira de série normal ou intermediária, em que o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. O módulo de finura, no entanto, equivale à soma dos percentuais retidos acumulados, em massa, de um agregado nas peneiras da série normal dividida por 100.

Verificou-se a distribuição dos tamanhos de partícula do cimento, através de um analisador a laser Cilas 1064 do Laboratório de Caracterização de Materiais (CECAM/IDT/UNESC).

Para determinação das fases cristalinas do cimento e do sabugo utilizou-se um difratômetro de raios X Shimadzu XRD-6000 do CECAM/IDT/UNESC, goniômetro 2theta, radiação K- α com tubo de cobre de comprimento de onda (λ) de 1,5406 Å. O passo realizado na análise foi de 2°/min e intervalo de medida de 3° a 80°, com 25 kV de voltagem e 25 mA de corrente elétrica.

A fim de investigar o comportamento do resíduo mediante aquecimento, submeteu-se o mesmo à análise térmica diferencial e termogravimétrica (ATD/TG) no Laboratório de Valoração de Resíduos (LabValora/UNESC). O equipamento utilizado foi um Netzsch STA 449 F3 Júpiter. Para o ensaio, adotou-se atmosfera oxidante de ar sintético e taxa de aquecimento de 20 °C/min, até a temperatura de 1000 °C.

Para identificação da área superficial específica utilizou-se o método de BET (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett e Edward Teller) que foi realizado no LabValora/IDT/UNESC em um equipamento Quantachrome e por meio da adsorção de nitrogênio.

4.2.3 Definição dos traços e dosagem

A dosagem é a etapa inicial do processo de produção dos compósitos cimentícios em geral. Conforme Speck (2014), é através da correta dosagem destes materiais que é possível obter a formulação adequada para a produção das placas cimentícias.

Um dos traços utilizados para matriz cimentícia de placas com proporção em massa é o de 1: 6 (cimento: areia). Tal traço garante uma relação custo-benefício considerável, além de atender aos parâmetros tecnológicos, segundo estudos realizados (GUIMARÃES; ANDRADE, 2017; AZEVEDO et. al, 2018).

Inicialmente, adotou-se como traço referência 1: 6 (cimento: areia), definindo-se através de testes empíricos uma relação água/aglomerante, que tornasse a argamassa no mínimo moldável,

independente da porcentagem do agregado resíduo, inserido nela. Dessa forma, fixou-se a relação água/aglomerante, deixando livre o índice de consistência, desde que moldável e similar ao orientado pela ABNT NBR 13276 (2016) de $260 \pm 5\text{mm}$. Foram realizadas misturas com substituições parciais do agregado miúdo por resíduo de milho (sabugo) triturados, em volumes, de 5%, 7,5% e 10%.

Compósitos com incorporação de resíduos vegetais costumam apresentar maior absorção de água (VALENCIANO, 2004). Uma solução para evitar excessos de água à mistura, que podem prejudicar a durabilidade do compósito (JUNIOR, 2016), é a utilização de aditivos incorporadores de ar. Os aditivos podem atribuir maior plasticidade e trabalhabilidade, redução na quantidade de água de amassamento, redução de densidade e permeabilidade (SOUSA, 2019). Logo, além dos teores de resíduos incorporados, realizaram-se misturas com diferentes teores de aditivo incorporador de ar, variando seus percentuais em 0,2%, 0,3% e 0,4% sobre a massa de cimento, já que comercialmente sugere-se a adição de proporções que variem entre 0,2% e 0,5%.

Com a finalidade de avaliar esses parâmetros sobre cada variável resposta, adotou-se um planejamento estatístico fatorial 3^k com três níveis e dois fatores, teor de resíduo e teor de aditivo, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de dados do planejamento fatorial 3^k.

Experimento	Fatores			
	Nível 1	Nível 2	Teor de Resíduo (%)	Teor de Aditivo (%)
1	-1	-1	5	0,2
2	-1	0	5	0,3
3	-1	1	5	0,4
4	0	-1	7,5	0,2
5	0	0	7,5	0,3
6	0	1	7,5	0,4
7	1	-1	10	0,2
8	1	0	10	0,3
9	1	1	10	0,4

Fonte: Do autor, 2022.

Com o intuito de comparar as amostras com a adição de resíduo e aditivo com a referência, utilizou-se a melhor composição com maior teor de resíduo e, com auxílio do *software Excel*, foram aplicados testes para comparação de duas variâncias (Teste F) e teste para comparação de duas médias (Teste t).

4.2.4 Produção das misturas

As misturas foram realizadas no LMCC/IDT/UNESC, utilizando-se um misturar mecânico, do tipo argamassadeira. Inicialmente fez-se a homogeneização dos componentes secos no equipamento. Em seguida, adicionou-se a água com o aditivo. Misturou-se os materiais em dois períodos de 30 segundos com um intervalo de 60 segundos entre eles. O método de mistura foi adaptado da ABNT NBR 13276 (2016).

O agregado miúdo e o sabugo de milho granulado foram secos em estufa por 24 horas antes do procedimento em temperatura de (105 ± 5) °C.

Após produção das misturas, verificou-se o índice de consistência conforme ABNT NBR 13276 (2016).

4.2.5 Confeção dos corpos de prova e das placas de fibrocimento

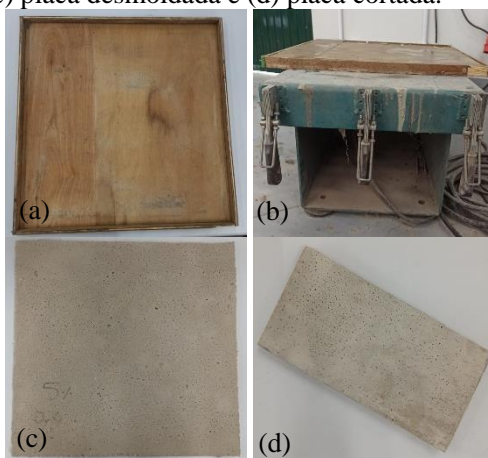
Para os ensaios da argamassa foram moldados corpos de prova prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm) e conforme ABNT NBR 13279 (2005) foram preenchidos em duas camadas, aplicando-se 30 golpes em cada uma com o auxílio da mesa de adensamento.

Para a moldagem das placas, foram utilizadas formas de madeira de 60 cm x 60 cm, com espessura de 2 cm. O processo de preenchimento da forma pela argamassa foi executado sob mesa vibratória, tendo-se o cuidado de evitar segregação e a formação de falhas de moldagem que podem afetar as propriedades avaliadas.

O material de reforço, foi previamente cortado (no tamanho do molde) e colocado em posição centralizada na forma, garantindo sua proteção através da camada de cobertura de argamassa. Após todo o preenchimento foi feito o arrasamento da forma como uma régua metálica, evitando defeitos estéticos.

Após a cura aos 28 dias preparou-se as amostras para os ensaios físicos e mecânicos conforme ABNT NBR 15498 (2016), sendo estas obtidas através do corte das placas empregando uma máquina de corte. O procedimento ocorreu no LMCC/IDT/UNESC. A Figura 8 mostra parte do processo apresentado.

Figura 8 - Imagens da (a) forma das placas, (b) mesa vibratória, (c) placa desmoldada e (d) placa cortada.

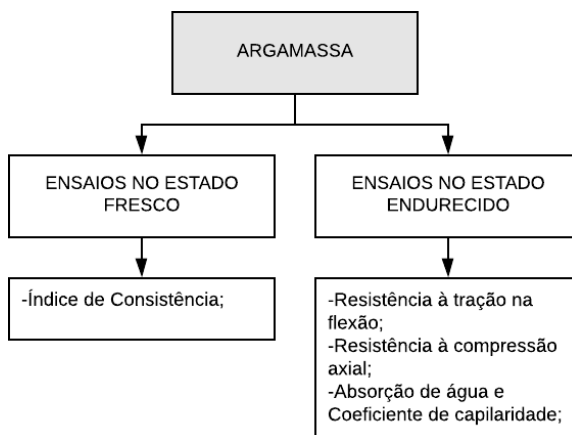


Fonte: Do Autor, 2022.

4.2.6 Ensaios da argamassa

Os ensaios para a argamassa, foram realizados conforme ABNT NBR 13276 (2005) divididos em ensaio no estado fresco e estado endurecido, conforme Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma dos ensaios para argamassa.



Fonte: Do Autor, 2022.

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado conforme ABNT NBR 13279 (2005), no qual moldaram-se três corpos de prova prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm) para cada experimento, conforme Tabela 3 mais amostra de referência. Após manter a argamassa nos moldes por um período de 48 ± 24 horas, a mesma ficou exposta ao ar na temperatura de 23 ± 2 °C até 28 dias. Para romper os corpos de prova, utilizou-se a EMIC DL10000, com aplicação de uma carga uniforme e sem choque de 50 ± 10 N/s. Realizou-se o procedimento no Laboratório de Ensaios Mecânicos/IDT/UNESC.

A resistência à tração na flexão foi calculada conforme a Equação 6.

$$R_f = \frac{1,5F_fL}{40^3} \quad (6)$$

Onde

R_f : Resistência à tração na flexão (MPa);

F_f : Carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N) e

L : Distância entre os suportes (mm).

O ensaio de resistência à compressão foi realizado como prescreve a ABNT NBR 13279 (2005) no LMCC/IDT/UNESC. Para romper os corpos de prova utilizou-se a prensa EMIC PC200CS, aplicando uma carga uniforme e sem choque de 500 ± 50 N/s em cada metade dos cinco corpos de prova utilizados no ensaio de flexão.

A resistência à compressão é dada segundo a Equação 7.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (7)$$

Onde

R_c : Resistência à compressão (MPa) e

F_c : Carga máxima aplicada (N).

Para avaliar a absorção de água e determinar o coeficiente de capilaridade utilizou-se a ABNT NBR 15259 (2005). Três corpos de prova prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm) foram moldados para cada mistura e, após 28 dias, imersos em água em um nível de 5 ± 1 mm acima da face em contato. Após 10 minutos, com a retirada do excesso de água, foram pesados, repetindo o processo aos 90 minutos.

A absorção de água e o coeficientes de capilaridade são representados pelas Equações 8 e 9, respectivamente.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (8)$$

Onde

A_t : Absorção de água por capilaridade para cada tempo (g/cm^2);
 m_t : Massa do corpo de prova para cada tempo (g) e
 m_0 : Massa inicial do corpo de prova (g).

$$C = m_{90} - m_{10} \quad (9)$$

Onde

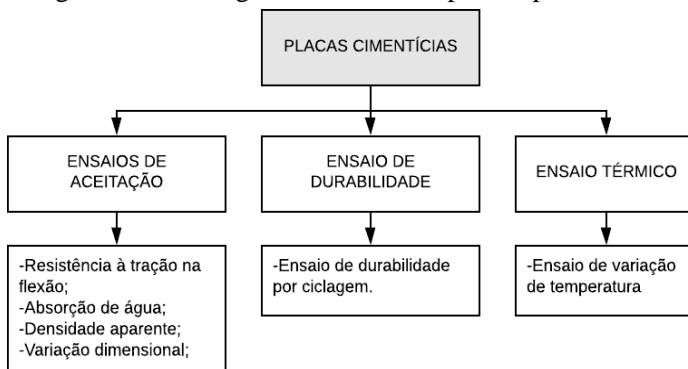
C : Coeficiente de capilaridade ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$);
 m_{90} : Massa do corpo de prova aos 90 minutos e
 m_{10} : Massa do corpo de prova aos 10 minutos.

O coeficiente de capilaridade é igual ao valor médio das diferenças de massa aos 10 min e aos 90 min.

4.2.7 Ensaaios das placas cimentícias

Os ensaios em corpos de provas retirados das placas confeccionadas, segundo a ABNT NBR 15498 (2016), foram subdivididos em dois grupos, os ensaios de aceitação e de durabilidade, conforme Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma dos ensaios para as placas cimentícias.



Fonte: Do Autor, 2022.

A resistência à flexão simples é um importante parâmetro a ser analisado em placas cimentícias. A sua resistência é um condicionante às dimensões da placa e sua respectiva aplicação. Para este método, foram retirados quatro corpos de prova de cada placa experimental (Tabela 3 mais amostra de referência), após cura aos 28 dias. Para as placas que apresentam espessura entre 9 mm e 30 mm, os corpos de prova podem ser quadrados ou retangulares, optou-se por corpos de prova quadrados com dimensões de 23 cm x 23 cm.

O ensaio foi realizado em estado de equilíbrio. Para o estado de equilíbrio, os corpos de prova, foram expostos, no mínimo, três dias em atmosfera controlada com temperatura de 23 ± 10 °C e umidade relativa de 50 ± 20 %, dispostos de tal modo que todas as faces sejam corretamente ventiladas. Após preparação os mesmos foram submetidos ao ensaio e analisados conforme a Equação 10.

$$R_f = \frac{3P_m \times L}{2b \times e^2} \quad (10)$$

Onde

R_f = Resistência à tração na flexão (MPa);
 P_m = Carga máxima de ruptura por flexão (N);
 l = Distância entre os eixos (mm);
 b = largura dos corpos de prova (mm) e
 e = espessura média (mm).

Segundo a ABNT NBR 15498 (2016), a distância entre os eixos do suporte deve ser fixada em 215 ± 5 mm. A resistência à tração na flexão trata-se da média aritmética dos quatro valores encontrados. Para realização do ensaio foi utilizada a prensa EMIC DL10000, aplicando uma carga que suficiente para causar a ruptura do corpo de prova em um intervalo entre 10s e 30s. Realizou-se o ensaio no Laboratório de Ensaio Mecânicos/IDT/UNESC.

A fim de avaliar as interfaces do resíduo com as placas de fibrocimento, amostras das placas foram submetidos à análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

O ensaio de absorção de água foi executado conforma a ABNT NBR 15498 (2016), que exige no mínimo quatro corpos de prova com uma área superficial de no mínimo 20 cm², podendo ser resultantes do processo de ruptura mecânica, desde que não danificadas.

Para realização do ensaio, os corpos de prova foram submersos em água e determinou-se sua massa inicial (m_i), posteriormente os mesmos foram colocados em estufa para secagem mantidos à temperatura de 100 °C por 24 h, ou até massa constante (variação inferior a 0,1 %), para obtenção da massa final (m_f). Duas medidas de massa consecutivas foram obtidas observando um intervalo de pelo menos 1 h entre elas.

Para determinação da absorção de água, foi utilizada a Equação 11:

$$AA = \frac{(m_i - m_f)}{m_f} \times 100$$

(11)

Onde

AA = Absorção de água (%);
 m_i = massa inicial suturada (g) e
 m_f = massa final seca (g).

Conforme a ABNT NBR 15498 (2016), o ensaio de densidade aparente, assim como o de absorção de água, exige ao menos quatro corpos de prova com área superficial de pelo menos 20 cm² que podem ser resultantes do processo de ruptura do ensaio de resistência à tração na flexão. Para o ensaio, inicialmente os corpos de prova foram saturados, por no mínimo 24 h, posteriormente as amostras foram retiradas da água e secas em sua superfície com um pano úmido para determinação da massa úmida saturada (μ) pela pesagem direta. Posteriormente determinou-se a massa imersa (m_i) através de balança com dispositivo hidrostático.

Em seguida os corpos de prova foram secos em estufa à uma temperatura de 100 °C por 24 h ou até massa constante (variação inferior a 0,1 %), entre duas medidas de massa consecutivas, onde determinou-se outra massa (m_f). O volume (V) foi determinado pela diferença entre a massa úmida saturada (μ) e a massa imersa (m_i), expressa em

centímetro cúbicos (cm^3), considerando a densidade da água igual a $1,0 \text{ g/cm}^3$.

Logo, a densidade aparente foi determinada através da Equação 12:

$$\rho = \frac{m_f}{V} \quad (12)$$

Onde

ρ = densidade aparente (g/cm^3);

m_f = massa do corpo de prova após secagem (g) e

V = volume do corpo de prova (cm^3).

Para execução do ensaio de variação dimensional, a ABNT NBR 15498 (2016) indica a retirada de quatro corpos de prova do produto pronto, sendo dois corpos de prova em cada sentido, transversal e longitudinal, para amostras retangulares, com dimensões mínimas de $100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$. Os corpos de prova foram identificados com a direção longitudinal da placa.

Para realização do ensaio, os corpos de prova foram medidos na posição central e posteriormente imersos em água, mantendo-os nessa condição por um período de 24 h, após esse período os mesmos foram retirados, secos superficialmente, e medidos novamente na região central (l_i), posteriormente mantidos em estufa durante 24 h à temperatura de $100 \text{ }^\circ\text{C}$ a $110 \text{ }^\circ\text{C}$, ou até massa constante (variação inferior a $0,1 \%$). Duas medidas de massa consecutivas foram obtidas, observando um intervalo de pelo menos 1 h entre elas. Após retirada dos corpos de prova da estufa, esperou-se os mesmos atingirem a temperatura ambiente, onde efetuou-se nova medição na mesma posição anterior (l_f).

Encontraram-se os valores para variação dimensional por umidade das placas pela Equação 13:

$$v = \frac{l_i - l_f}{l_f} \times 100 \quad (13)$$

Onde

v = variação dimensional (%);
 l_i = comprimento inicial (mm) e
 l_f = comprimento final (mm).

Para realização do ensaio de durabilidade por ciclagem, adotaram-se os experimentos com maior resistência à tração na flexão, que continham menor e maior teor de sabugo. O ensaio foi realizado no Laboratório de cerâmica de construção civil do SENAI.

Segundo a ABNT NBR 15498 (2016), para realização do ensaio, são necessários dez pares de placas de cada traço, com as mesmas dimensões dos ensaios anteriores, tendo os pares a mesma numeração para efeito de comparação. Assim foram separados os pares, formando-se dois lotes de dez corpos de prova cada, onde o primeiro lote foi submetido a ensaio de resistência à tração na flexão no estado saturado, sem nenhum tipo de ciclo, e o segundo lote foi submetido a 50 ciclos de molhagem e secagem.

Em cada ciclo o corpo de prova foi imerso em tanque de água à temperatura ambiente (entre 5 °C e 40 °C) durante um período de 18 h e posteriormente colocado em estufa ventilada à temperatura de (60 ± 5) °C e umidade relativa inferior a 20% durante um período de 6 h.

Após a execução dos 50 ciclos, os corpos de provas foram submetidos a ensaio de resistência à tração na flexão no estado saturado, possibilitando comparação com os valores encontrados no outro lote. A partir dos resultados obtidos, realizou-se o cálculo relativo a cada par de corpos de prova, segundo a Equação 14:

$$r_i = \frac{R_{fi}}{R_{fci}} \quad (14)$$

Onde

r_i = é o resultado individual de envelhecimento acelerado por ciclos de imersão/secagem do i -ésimo corpo de prova;

R_{fi} = é a resistência à tração na flexão do i -ésimo corpo de prova após os ciclos de imersão/secagem, expressa em MPa e

R_{fci} = é a resistência à tração na flexão do i -ésimo corpo de prova de referência (primeiro lote), expressa em MPa.

Para avaliar a influência do resíduo e aditivo na capacidade de isolamento térmico das placas, adaptou-se o ensaio térmico realizado por Rosner (2018), no LMCC/IDT/UNESC. Escolheu-se a placa com maior resistência à tração na flexão e maior quantidade de resíduo para ser comparada com a placa de referência. O ensaio foi realizado em uma estufa da marca Quimis, com homogeneidade interna de ± 5 °C. A porta da estufa foi substituída pelas placas e para fechamento dos espaços vazios, utilizou-se lã de rocha, a fim de evitar perda de calor (Figura 11).

Com intuito de realizar medições de temperatura durante o ensaio utilizou-se quatro termopares do tipo K, os quais foram posicionados dentro e fora da estufa, e colados na face interna e externa dos painéis, coletando dados a cada 5 minutos. A estufa foi programada para estar com uma temperatura de (60 ± 1) °C durante um período de 4 horas. Com auxílio de uma câmera termográfica FLIR T440, foram coletadas imagens durante do ensaio.

Figura 11 - Ensaio térmico para placa cimentícia.



Fonte: Do Autor, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para esta pesquisa estão apresentados nas seções subsequentes.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A caracterização dos grãos de sabugo de milho antes e após o tratamento realizado encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização do sabugo de milho.

Características	Sabugo não tratado	Sabugo tratado
Absorção de água (%)	11,75	19,53
Massa específica (g/cm ³)	0,95	1,38
Massa unitária (g/cm ³)	0,41	0,60

Fonte: Do autor, 2022.

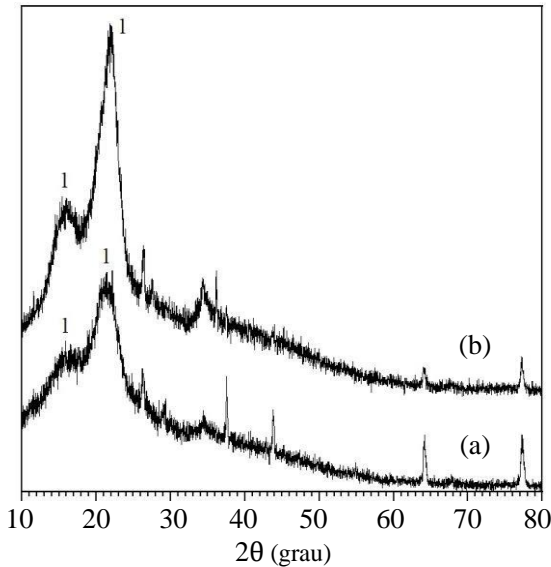
O sabugo não tratado apresentou uma absorção inferior ao do resíduo tratado. O mesmo foi obtido por Fonseca (2021), que verificou um aumento da absorção dos materiais lignocelulósicos empregados em sua pesquisa. A partir do tratamento com NaOH as fibras de Piaçava apresentaram maior absorção nos primeiros 5 minutos. Ainda conforme o autor, a celulose e a hemicelulose são geralmente fontes hidrofílicas e polares fortes e a partir do tratamento, o número polar das fibras aumenta. Desta forma, o aumento da absorção pode estar relacionado com as funcionalidades superficiais das fibras devido à remoção de substâncias como gomas e ceras.

Faustino et al. (2019), obtiveram um resultado similar em relação à massa específica do sabugo de milho não tratado, de 0,87 g/cm³. Após tratado, o resíduo revelou um aumento da massa específica.

A massa unitária apresentou-se proporcional às massas específicas. O tamanho dos grãos (Tabela 5) também influenciam nessa característica, logo, os valores de massa unitária aumentaram com a redução do tamanho das partículas. Em um dado volume constante, os sabugos com granulometria menor se aglomeram mais intensamente, resultando em uma massa unitária superior aos sabugos de maiores granulometrias (OLIVEIRA, 2014).

Na Figura 12 encontra-se o difratograma de raios X do resíduo tratado e não tratado.

Figura 12 - Difratogramas de raios X dos sabugos (a) não tratado e (b) tratado. Onde 1 - celulose.



Fonte: Do autor, 2022.

Os sabugos exibiram os picos de 16° e $22,2^\circ$ que são característicos da celulose ($C_6H_{10}O_5$), enquanto os picos de 35° são característicos de materiais lignocelulósicos (MENEZES,2017).

O pico maior é atribuído ao plano cristalográfico da celulose e pode-se observar que o mesmo é acentuado para o sabugo tratado.

Um comportamento similar foi evidenciado por Sun, Ding e Yin (2022) nas amostras de sabugo de milho *in natura* e pré-tratados em solução aquosa com NaOH aquecidos a $80^\circ C$. Após o tratamento verificou-se um aumento no pico $22,2^\circ$ para os sabugos tratados, que foi atribuído à remoção da hemicelulose e lignina.

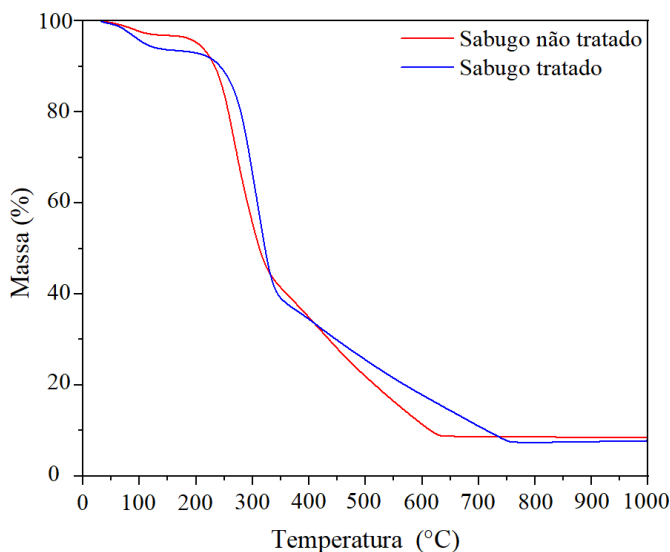
Com a análise da Figura 13 evidencia-se que a perda de massa dos sabugos de milho ocorreu em mais de um estágio. Para o sabugo não tratado, primeiro obteve-se uma perda de massa de aproximadamente 5%, que foi até a temperatura de $150^\circ C$. Tal perda justifica-se pela desidratação da partícula. Posteriormente foi eliminado cerca de 54% de massa entre as temperaturas de 160 a $340^\circ C$, que pode estar relacionada com a decomposição da hemicelulose, comumente observada entre 240 e

310 °C, enquanto a celulose se decompõe entre 310 e 360°C (MORENO, 2018).

Ocorreu ainda uma terceira perda de massa entre as temperaturas de 345 e 620°C de 34%, parte desse processo se encontra associado à degradação da lignina e carbono fixo. Obteve-se, portanto, uma perda total de aproximadamente 93%. Todo o comportamento do material foi semelhante ao obtido por Menezes (2017).

O sabugo tratado apresentou um processo semelhante ao sabugo não tratado, no entanto o tratamento químico interferiu na superfície modificando a cinética de oxidação do carbono fixo, que ficou compreendido entre as temperaturas de 350 e 760 °C.

Figura 13 - Termogravimetria dos sabugos tratados e não tratados.



Fonte: Do autor, 2022.

A Tabelas 5 apresenta a distribuição granulométrica do resíduo antes e após o tratamento.

Tabela 5 - Distribuição da composição granulométrica dos sabugos tratados e não tratados.

Peneira (mm)	Sabugo não tratado		Sabugo tratado	
	% Retido	% Retido acumulado	% Retido	% Retido acumulado
2,36	0,52	0,5	0,70	0,70
1,18	97,33	97,85	46,6	47,3
0,60	2,15	100	40,82	88,12
0,30	0,0	100	8,95	97,07
0,15	0,0	100	2,47	99,54
Fundo	0,0	100	0,46	100
Dimensão máxima característica (mm)	2,36		2,36	
Módulo de Finura	3,98		3,33	

Fonte: Do autor, 2022.

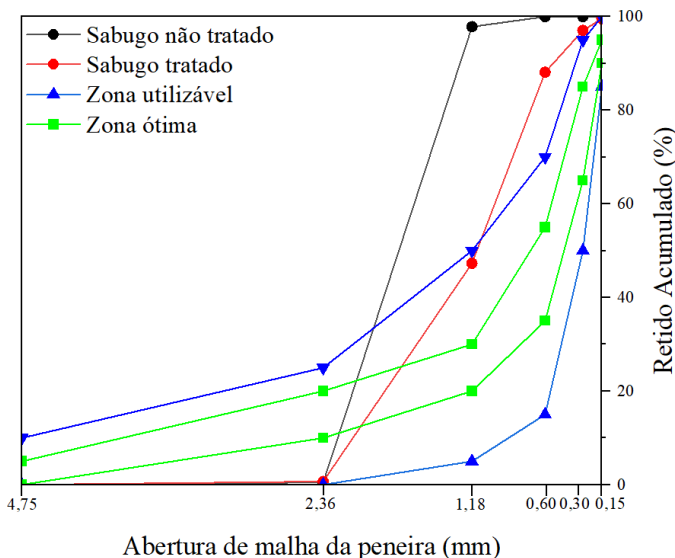
A dimensão máxima característica e o módulo de finura para o sabugo não tratado foram de 2,36 mm e 3,98, respectivamente. Para o sabugo tratado, a dimensão máxima foi de 2,36 mm e o módulo de finura 3,33.

O tratamento com NaOH é utilizado para remoção de lignina por quebrar as ligações entre este componente e os demais carboidratos, melhorando o processo de degradação da celulose (JÖNSSON; MARTÍN, 2016). Através desse processo, ocorre uma perda de massa nos grãos e uma variação do seu tamanho que atribui-se a lavagem do material, a remoção e a solubilização dos componentes ligados à celulose, proteínas e extraíveis.

A Figura 14 apresenta a relação da granulometria dos sabugos com o limites indicados pela ABNT NBR 7211 (2009) para o agregado miúdo utilizado em composições cimentícias.

Os sabugos não tratados e tratados posicionam-se na zona utilizável inferior nas peneiras 4,75 e 2,36 mm e zona ótima na peneira de abertura 2,36 mm. Os sabugos não tratados encontram-se acima da zona utilizável superior entre as aberturas 2,36 e 0,15 mm, os sabugos tratados, por sua vez apresentam-se acima da zona utilizável superior nas aberturas 1,18 e 0,15mm. Nota-se que o resíduo tratado aproxima-se mais das zonas utilizáveis e ótimas de granulometria para os agregados.

Figura 14 - Limites e composições granulométricas dos sabugos tratados e não tratados.



Fonte: Do autor, 2022.

É importante salientar que a norma ABNT NBR 7211 (2009) foi usada neste ensaio como forma de se obter uma comparação com a granulometria da areia, tendo em vista que a mesma norma não é aplicável a resíduos.

Os sabugos não tratados e tratados, apresentaram uma área superficial específica de 1,222 m²/g e 0,347 m²/g, respectivamente. Betioli et al. (2020), verificou que quanto menor o módulo de finura maior a área superficial específica do agregado.

Tabela 6 - Caracterização da areia.

Característica	Areia
Absorção de água (%)	0,30
Massa específica (g/cm ³)	2,64
Massa unitária (g/cm ³)	1,57

Fonte: Do autor, 2022.

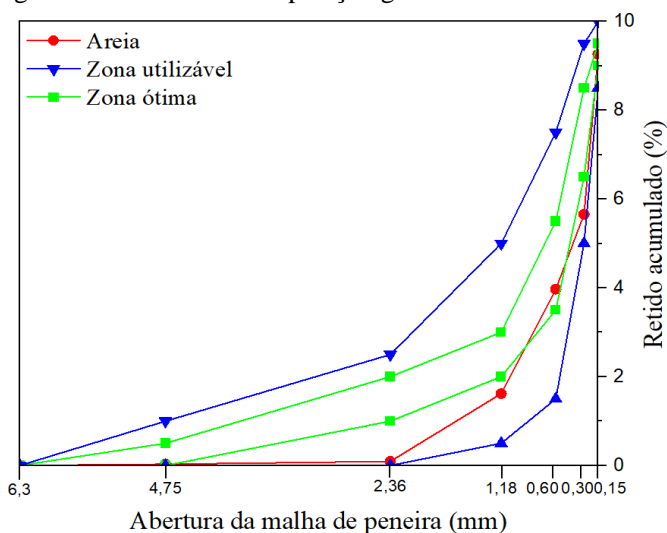
A Tabela 6 indica a caracterização da areia e a Tabela 7 a distribuição da composição granulométrica do agregado. Freitas et al. (2019), utilizaram em sua pesquisa agregado miúdo com massa específica e massa unitária semelhantes aos obtidos para o material. A absorção de água aproxima-se do resultado encontrado por Oliveira e Gerin (2020).

Tabela 7 - Distribuição da composição granulométrica da areia.

Peneira (mm)	% Retido	% Retido acumulado	Dimensão máxima característica (mm)	Módulo de finura
4,75	0,30	0,3		
2,36	0,63	0,93		
1,18	15,26	16,19		
0,60	23,52	39,71	2,36	2,06
0,30	16,86	56,57		
0,15	36,05	92,62		
Fundo	6,63	99,25		

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 15 - Limites e composição granulométrica da areia.

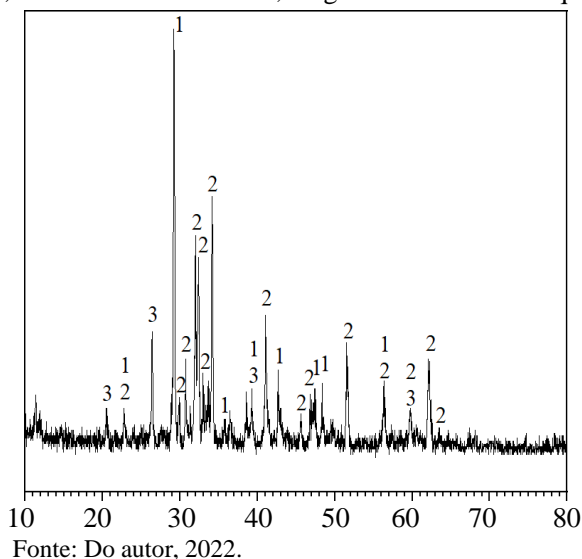


Fonte: Do autor, 2022.

A partir da análise da Figura 15, percebe-se que tratando-se dos limites indicados pela ABNT NBR 7211 (2009), a areia está compreendida entre as zonas utilizáveis, com aproximação maior da zona utilizável inferior e situada na zona ótima entre as peneiras com abertura de 1,18 e 0,3mm, o que atende os limites estabelecidos por norma. A mesma ainda evidencia que há uma importância de a curva manter-se dentro da zona utilizável nas peneiras mais finas.

Através do difratograma de raios X, conforme Figura 16, pode-se observar as fases cristalinas encontradas para o cimento CII 32 Z utilizado na confecção dos corpos de prova de argamassa e das placas cimentícias. Identificaram-se picos de calcita - CaCO_3 , silicato de alumínio, magnésio e cálcio - $54\text{CaO}.16\text{SiO}_2.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{MgO}$ e quartzo - SiO_2 o que apresenta ser compatível com os resultados obtidos por Graich (2020), em que CaO (34.86%), SiO_2 (45.26%), Al_2O_3 (1.93%) e MgO (2.82%).

Figura 16 - Difratograma de raios X do cimento Portland. Onde 1 - calcita, 2 - silicato de alumínio, magnésio e cálcio e 3 - quartzo.



De acordo com a distribuição de tamanhos de partículas do cimento CP II Z 32, 10% das partículas apresentam diâmetro inferior a

2,41 μm , 50% menor que 13,66 μm e 90% abaixo de 13,75 μm , e possui diâmetro médio de 16,84 μm . A análise ainda evidenciou que todas as partículas dispõem de tamanho inferior a 45 μm , o que atende à especificação física determinada pela ABNT NBR 16697 (2018) em relação a finura, que estabelece que a quantidade de resíduos passantes em peneira de abertura 75 μm deve ser menor ou igual a 6%.

A massa específica encontrada foi de $3,02 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, valor similar ao apresentado por Antoniazzi, Mohamad e Casali (2021) que obtiveram para o material uma massa específica de $3,06 \text{ g/cm}^3$.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

O índice de consistência e a relação água/aglomerante das misturas realizadas encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Índice de consistência das misturas.

Exp.	Teor de sabugo (%)	Teor de aditivo (%)	Relação água/aglomerante	Índice de consistência (mm)
Ref.	0	0	0,8	257,00
1	5	0,2	0,8	266,96
2	5	0,3	0,8	268,03
3	5	0,4	0,8	242,66
4	7,5	0,2	0,8	220,33
5	7,5	0,3	0,8	232,16
6	7,5	0,4	0,8	236,33
7	10	0,2	0,8	191,66
8	10	0,3	0,8	219,56
9	10	0,4	0,8	213,06

Fonte: Do autor, 2022.

Conforme já explanado, a relação água/aglomerante foi definida a partir do processo de mistura buscando-se um índice de consistência similar ao indicado pela ABNT NBR 13276 (2016) de $260 \pm 5\text{mm}$. Logo, para a dosagem das argamassas fixou-se a relação água/aglomerante em 0,8 e o índice de consistência variável.

A partir dos resultados observa-se que os experimentos com a substituição da areia pelo resíduo apresentam uma redução do índice de

consistência à medida que a porcentagem de resíduo aumenta. Esse comportamento pode ser atribuído a maior capacidade de absorção do sabugo de milho se comparado a areia, conforme verificado na caracterização dos materiais.

Shao, Du e Fenzhou (2021), também apresentaram redução da trabalhabilidade com o aumento do teor de sabugo empregado em suas misturas de argamassa. Os autores produziram argamassas com uma relação massa água/cimento de 0,5 e uma relação massa agregado/cimento de 3. A areia foi substituída em 10%, 20%, 30%, 40% e 50% por resíduo de sabugo de milho. O índice de consistência para o traço com 10% de resíduo foi de aproximadamente 168 mm, com redução a partir do aumento da substituição da areia pelo resíduo, com índice de consistência de aproximadamente 154 mm para o traço com 50% de substituição.

A partir do aumento do teor de aditivo, exceto para o experimento 3, pode-se observar que as misturas apresentaram maior índice de consistência, que atribui-se a capacidade do aditivo em elevar a fluidez das argamassas (PAIVA, 2022).

A ação sobre trabalhabilidade da argamassa gerada pelo aditivo é ocasionada por um efeito de rolamento de esferas. As pequenas bolhas esféricas funcionam como um agregado fino de baixo atrito e elasticidade considerável. A mistura também torna-se mais coesiva devido a nova tensão superficial das bolhas, que interligam-se com as partículas do cimento (ANTONIAZZI, 2020).

Os resultados obtidos para a absorção de água e coeficiente de capilaridade das argamassas encontram-se na Tabela 9 e Figura 17.

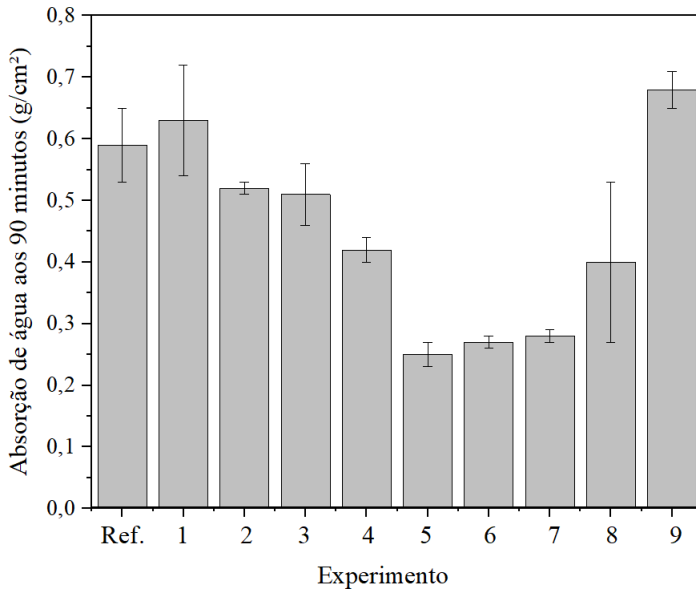
As argamassas 5, 6, 7 e 8 foram classificadas pelo coeficiente de capilaridade como classe 2 conforme norma ABNT NBR 13281 (2005), que compreende os valores obtidos entre 1,0 a 2,5 g/dm².√min, enquanto os demais experimentos foram categorizados como classe 4, com resultados que variam de 3,0 a 7,0 g/dm².√min.

Tabela 9 - Absorção de água (A_{10} e A_{90}) coeficiente de capilaridade (C) das argamassas.

Exp	A_{10} (g/cm ²) Média	A_{10} (g/cm ²) Desvio Padrão	A_{90} (g/cm ²) Média	A_{90} (g/cm ²) Desvio Padrão	C (g/dm ² .√min) Média	C (g/dm ² . √min) Desvio Padrão
Ref.	0,23	0,02	0,59	0,06	5,75	0,6
1	0,25	0,03	0,63	0,09	6,12	0,98
2	0,22	0,00	0,52	0,01	4,82	0,23
3	0,26	0,03	0,51	0,05	4,12	0,40
4	0,21	0,01	0,42	0,02	3,30	0,26
5	0,13	0,01	0,25	0,02	1,89	0,24
6	0,15	0,01	0,27	0,01	2,01	0,15
7	0,21	0,01	0,28	0,01	1,14	0,03
8	0,31	0,09	0,40	0,13	1,62	0,60
9	0,36	0,04	0,68	0,03	5,19	0,97

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 17 - Absorção de água por capilaridade aos 90 minutos das argamassas.



Fonte: Do autor, 2022.

A análise de variância ANOVA para a absorção de água referente aos 90 min, está representada na Tabela 10.

A mesma indica o valor de R^2 (0,90995) e R^2 ajustado (0,86993) e mesmo que o fator sabugo (L) e as interações sabugo (L) x aditivo (Q), sabugo (Q) x aditivo (L) e sabugo (Q) x aditivo (Q) não apresentem significância para a variável resposta absorção de água, quando não considerados, prejudicaram o ajuste do modelo, com redução do R^2 .

Tabela 10 - Análise de variância ANOVA para a absorção de água por capilaridade aos 90 minutos das argamassas.

Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de sabugo(L)	0,011557	1	0,011557	3,55899	0,075463
Teor de sabugo(Q)	0,058036	1	0,058036	17,87174	0,000506
Teor de aditivo(L)	0,037985	1	0,037985	11,69698	0,003053
Teor de aditivo(Q)	0,028675	1	0,028675	8,83030	0,008175
1L x 2L	0,053001	1	0,053001	16,32100	0,000768
1L x 2Q	0,000058	1	0,000058	0,01781	0,895326
1Q x 2L	0,011157	1	0,011157	3,43558	0,080270
1Q x 2Q	0,001912	1	0,001912	0,58867	0,452881
Erro	0,058453	18	0,003247		
Total SS	0,649138	26			
R^2	0,90995				
R^2 ajustado	0,86993				
α	0,05				
L=Linear					
Q= Quadrático					
1= Teor de sabugo					
2=Teor de aditivo					

Fonte: Do autor, 2022.

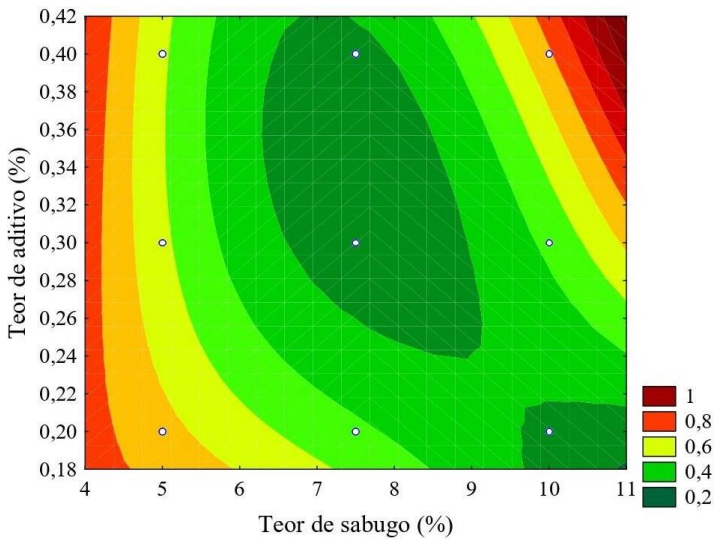
A superfície de resposta, Figura 18, demonstra que a absorção de água é maior para as amostras com maior teor de sabugo e aditivo.

As amostras com 5% e 7,5% de substituição da areia pelo sabugo, apresentaram uma redução da absorção a partir do aumento do aditivo incorporador de ar. O mesmo foi verificado por Biava et al. (2018), em que tratando-se das argamassas com maior porosidade, devido à incorporação de ar, tiveram uma redução da sua capacidade de absorção ocasionada pela dificuldade de ascensão da água por capilaridade. Conforme Trentin (2020), isso acontece porque as bolhas de ar

incorporadas na argamassa interrompem e desconectam os poros capilares.

Já para o teor de sabugo de 10%, o aumento de aditivo interferiu elevando a absorção por capilaridade da argamassa. A maior quantidade de aditivo relacionado com a porcentagem superior de resíduos, pode ter levado a um excesso de poros, contribuindo para o aumento da absorção.

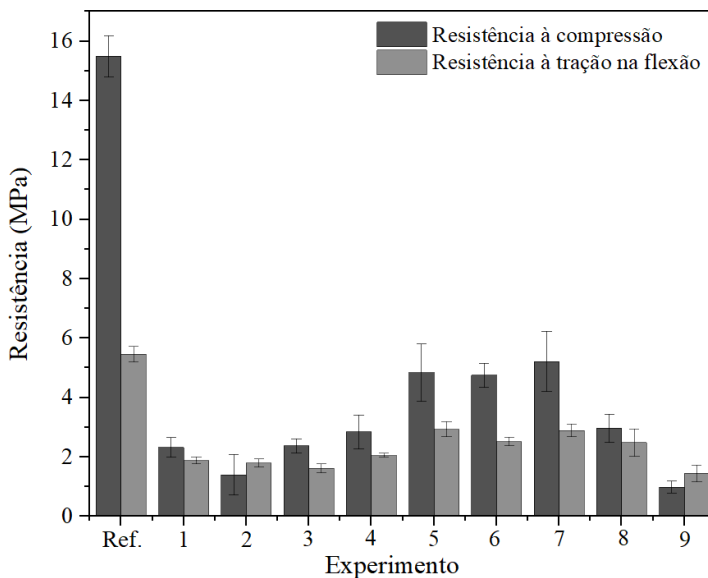
Figura 18 - Superfície de resposta para a absorção de água por capilaridade aos 90 minutos das argamassas.



Fonte: Do autor, 2022.

A Figura 19 apresenta as médias das resistências à compressão (Tabela 11) e à tração na flexão (Tabela 13) das argamassas.

Figura 19 - Resistências à compressão e à tração na flexão das argamassas.



Fonte: Do autor, 2022.

Tabela 11 - Resistência à compressão (R_c) das argamassas.

Experimento	R_c (MPa)	
	Média	Desvio Padrão
Referência	15,49	0,70
1	2,32	0,33
2	1,40	0,68
3	2,37	0,24
4	2,84	0,56
5	4,84	0,97
6	4,75	0,41
7	5,21	1,01
8	2,96	0,48
9	0,98	0,20

Fonte: Do autor, 2022.

A partir da ABNT NBR 13281 (2005), somente os experimentos 2 e 9 não atenderam à resistência mínima de 1,5 MPa.

A análise de variância ANOVA para a resistência à compressão aos 28 dias está exposta na Tabela 12. Entre os fatores que não foram significativos para a variável resposta excluíram-se aqueles que não prejudicaram o ajuste do modelo quando desconsiderados, a interação entre o teor de sabugo (L) e teor de aditivo (Q) e a interação entre teor de sabugo (Q) e teor de aditivo (L).

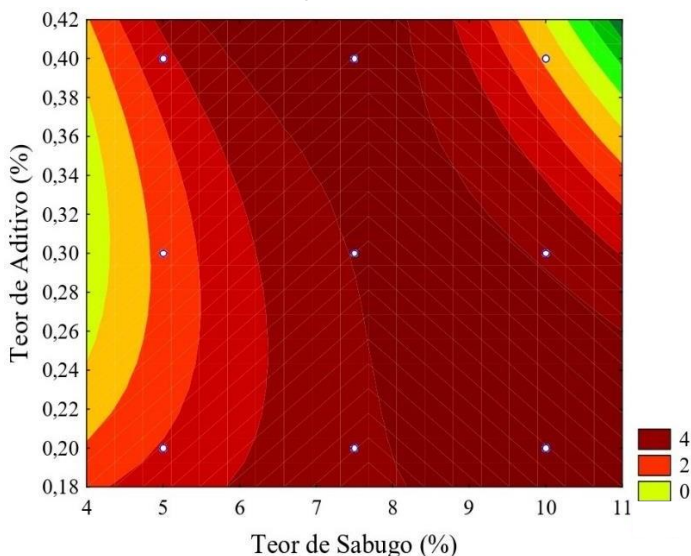
Tabela 12 - Análise de variância ANOVA para a resistência à compressão das argamassas.

Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de sabugo (L)	9,4147	1	9,41467	24,02714	0,000012
Teor de sabugo (Q)	0,9113	1	0,91125	2,32560	0,133963
Teor de aditivo (L)	1,2321	1	1,23210	3,14444	0,082666
Teor de aditivo (Q)	0,0012	1	0,00120	0,00306	0,956102
1L x 2L	27,6062	1	27,60615	70,45353	0,000000
1Q x 2Q	38,3043	1	38,30427	97,75615	0,000000
Erro	18,4162	47	0,39183		
Total SS	129,6929	53			
R ²	0,858				
R ² ajustado	0,83987				
α	0,05				
L=Linear					
Q= Quadrático					
1= Teor de sabugo					
2=Teor de aditivo					

Fonte: Do autor, 2022.

A superfície de resposta da Figura 20 mostra que a resistência à compressão das argamassas apresentaram-se inferiores tanto para menor teor de sabugo com menor teor de aditivo, como para maior teor de sabugo e maior quantidade de aditivo na composição.

Figura 20 - Superfície de resposta para resistência à compressão das argamassas.



Fonte: Do autor, 2022.

No primeiro caso, o índice de consistência pode ter influenciado na resistência à compressão, já que os experimentos com menor teor de sabugo apresentaram-se superiores aos demais. Tunstall, Ley e Scherer (2021) indicam que a relação água/cimento da mistura associada à quantidade de aditivo interfere na trabalhabilidade e logo, na resistência à compressão.

Para o segundo caso, Shah et al. (2021) diz que a alta dosagem de aditivo produz maior teor de ar incorporado, tornando a estrutura porosa. Como resultado, a capacidade do material de suportar tensões é menor devido à diminuição na área de forma efetiva que resulta em uma redução da resistência à compressão.

A quantidade de sabugo na mistura também pode interferir na resistência à compressão devido a massa específica do agregado. As misturas com substituições da areia por agregados mais leves, tendem a apresentar menor resistência mecânica.

O mesmo foi verificado por Cheboub et al. (2020), que obteve uma redução de resistência à compressão de até 36% para as argamassas com

substituição parcial da areia por cascas de caroço de azeitona, se comparado a amostra referência. Em sua pesquisa a areia apresentou massa específica de $2,34 \text{ g/cm}^3$, enquanto que para a casca encontrou-se um valor de $1,25 \text{ g/cm}^3$.

A interface entre o resíduo e a matriz de cimento também deve ser levado em consideração. Devido ao menor módulo de elasticidade do sabugo de milho em relação ao da matriz cimentícia, a concentração de tensões ao redor do resíduo ocorre sob compressão, desta forma, a tensão da matriz cimentícia aumenta, levando à ruptura mais precoce dos corpos de prova de argamassa e à diminuição da resistência à compressão (SHAO, 2021).

As tabelas 13 e 14 apresentam as médias encontradas para a resistência à tração na flexão das argamassas e a análise de variância ANOVA para esta propriedade, respectivamente.

Tabela 13 - Resistência à tração na flexão (R_f) das argamassas.

Experimento	R_f (MPa)	
	Média	Desvio Padrão
Referência	5,46	0,26
1	1,88	0,12
2	1,79	0,14
3	1,62	0,15
4	2,05	0,07
5	2,93	0,25
6	2,51	0,14
7	2,89	0,21
8	2,48	0,46
9	1,45	0,28

Fonte: Do autor, 2022.

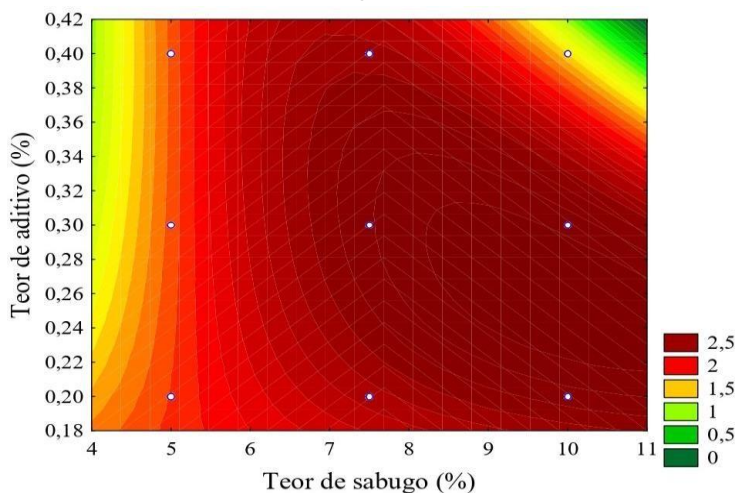
A ABNT NBR 13281 (2005) exige uma resistência mínima para a argamassa de $1,0 \text{ MPa}$, que foi atendida em todas as misturas.

Tabela 14 - Análise de variância ANOVA para a resistência à tração na flexão das argamassas.

Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de sabugo (L)	1,17556	1	1,175556	22,45843	0,000126
Teor de sabugo (Q)	0,020704	1	0,020704	0,39554	0,536519
Teor de aditivo (L)	1,306806	1	1,306806	24,96590	0,000069
Teor de aditivo (Q)	0,668891	1	0,668891	12,77884	0,001896
1L x 2L	1,038408	1	1,038408	19,83830	0,000244
1Q x 2Q	1,987245	1	1,987245	37,96539	0,000005
Erro	1,046872	20	0,052344		
Total SS	8,049430	26			
R ²	0,86994				
R ² ajustado	0,83093				
α	0,05				
L=Linear					
Q= Quadrático					
1= Teor de sabugo					
2=Teor de aditivo					

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 21 - Superfície de resposta para resistência à tração na flexão das argamassas.



Fonte: Do autor, 2022.

Com a análise da superfície resposta na Figura 21 pode-se verificar que os resultados foram consistentes com as tendências da resistência à compressão. A resistência à tração na flexão das argamassas é reduzida a partir dos menores teores de sabugo com teores de aditivo mais elevados e dos maiores teores de sabugo e aditivo.

Assim como para a resistência à compressão, a diminuição da resistência à tração pode ser atribuída à porosidade, baixa densidade do agregado em comparação com a areia natural e a má adesão do resíduo com a matriz cimentícia (MARTINS e ASSUNÇÃO, 2010). A incorporação de ar tende a tornar a estrutura mais porosa culminando em uma redução da resistência mecânica.

O modelo, no entanto, explica somente 86,994% da variável resposta.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS DE FIBROCIMENTO

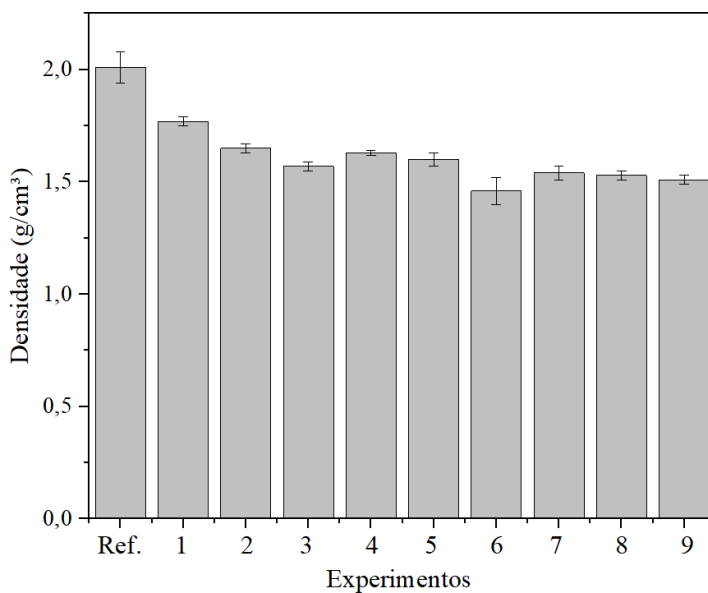
Os resultados médios para a densidade das placas de fibrocimento encontram-se na Tabela 15 e Figura 22.

Tabela 15 - Densidade aparente (ρ_s) das placas.

Experimento	ρ_s (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)
	Média	Desvio Padrão
Referência	2,01	0,07
1	1,77	0,02
2	1,65	0,02
3	1,57	0,02
4	1,63	0,01
5	1,60	0,03
6	1,46	0,06
7	1,54	0,03
8	1,53	0,02
9	1,51	0,02

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 22 - Densidade aparente das placas.



Fonte: Do autor, 2022.

A Tabela 16 exhibe a análise de variância ANOVA referente a densidade das placas.

Os valores obtidos para R^2 e R^2 ajustado, são 0,92326 e 0,90053, respectivamente. Apesar do fator aditivo (Q) e a interação sabugo (L) x aditivo (Q) não serem significativos para a variável resposta, quando não considerados, reduziram o R^2 , prejudicando o ajuste do modelo.

Tabela 16 - Análise de variância ANOVA para a densidade aparente das placas.

Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de sabugo (L)	0,037348	1	0,037348	49,38992	0,000000
Teor de sabugo (Q)	0,016013	1	0,016013	21,17548	0,000089
Teor de aditivo (L)	0,029030	1	0,029030	38,39075	0,000001
Teor de aditivo (Q)	0,000596	1	0,000596	0,78872	0,382331
1L x 2L	0,006746	1	0,006746	8,92096	0,005935
1L x 2Q	0,000413	1	0,000413	0,54648	0,466137
1Q x 2L	0,012055	1	0,012055	15,94207	0,000451
1Q x 2Q	0,007281	1	0,007281	9,62910	0,004456
Erro	0,020417	27	0,000756		
Total SS	0,266061	35			
R ²	0,92326				
R ² ajustado	0,90053				
α	0,05				
L=Linear					
Q= Quadrático					
1= Teor de sabugo					
2=Teor de aditivo					

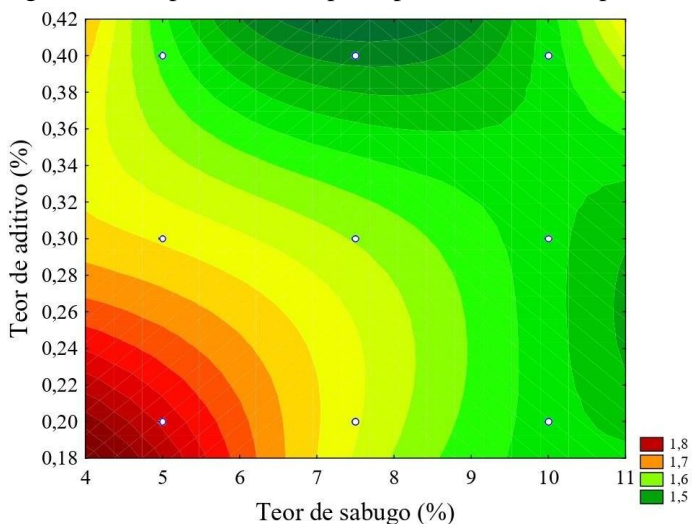
Fonte: Do autor, 2022.

A superfície de resposta da Figura 23 mostra que a densidade das placas diminui com o acréscimo dos teores de aditivo e sabugo. O sabugo de milho possui massa específica inferior a areia, o que possibilita a redução da densidade das placas.

Kunchariyakun et al. (2022) também relatou uma diminuição de densidade em seus experimentos a partir da inserção de resíduo de madeira, que apresentam baixa massa específica e alta porosidade na matriz cimentícia. Obteve-se como resultado, um decréscimo na densidade de até 12,56%, a partir da inserção de 5% de resíduo na mistura, se comparado ao experimento sem nenhuma adição do material.

O aditivo incorporador de ar, cria intencionalmente várias bolhas de ar na mistura, o que corrobora com uma diminuição da massa específica das placas (QUIAO, 2017). Azevedo (2019), verificou uma redução de densidade de aproximadamente 17% para as placas cimentícias contendo 0,005 de incorporador de ar se comparado as placas sem aditivo.

Figura 23 - Superfície de resposta para a densidade aparente.



Fonte: Do autor, 2022.

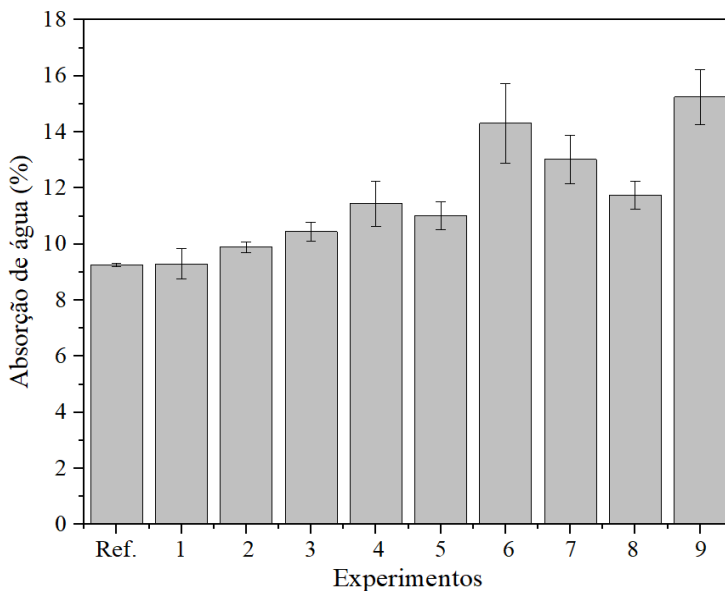
As médias de absorção de água das placas, estão expostas na Tabela 17 e Figura 24.

Tabela 17 - Absorção de água (AA) das placas.

Experimento	AA (%)	
	Média	Desvio Padrão
Referência	9,26	0,05
1	9,30	0,54
2	9,90	0,19
3	10,45	0,33
4	11,45	0,80
5	11,02	0,5
6	14,31	1,43
7	13,02	0,87
8	11,76	0,50
9	15,25	0,99

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 24 - Absorção de água das placas.



Fonte: Do autor, 2022.

Na Tabela 18, encontra-se a análise de variância ANOVA para a absorção de água das placas. Nela estão indicados os valores de R^2 (0,8894) e R^2 ajustado (0,85664). As interações sabugo (Q) x aditivo (L) e sabugo (Q) x aditivo (Q) não apresentam significância para a variável resposta absorção de água, no entanto, quando não considerados, reduziram o R^2 .

Tabela 18 - Análise de variância ANOVA para a absorção de água das placas.

Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de sabugo (L)	51,3911	1	21,39108	86,72452	0,000000
Teor de sabugo (Q)	3,0712	1	3,07118	5,18274	0,030957
Teor de aditivo (L)	35,7635	1	35,76348	60,35232	0,00000
Teor de aditivo (Q)	15,5796	1	15,57965	26,29128	0,000022
1L x 2L	8,6713	1	8,67129	14,63316	0,000701
1L x 2Q	7,7166	1	7,71656	13,02201	0,001234
1Q x 2L	2,1535	1	2,15353	3,63417	0,067301
1Q x 2Q	0,7886	1	0,78860	1,33079	0,258774
Erro	15,9996	27	0,59258		
Total SS	144,667	35			
R ²	0,8894				
R ² ajustado	0,85664				
α	0,05				
L=Linear					
Q= Quadrático					
1= Teor de sabugo					
2=Teor de aditivo					

Fonte: Do autor, 2022.

Avaliando a superfície de resposta (Figura 25), observa-se que a absorção de água nas placas é maior com o aumento da inserção de resíduo e também do teor de aditivo.

Esse aumento está relacionado à maior capacidade de absorção do sabugo de milho, principalmente devido à natureza hidrofílica do resíduo após o tratamento.

M.s, Vishnudas e Anil (2021) apresentaram um aumento na absorção da matriz cimentícia de seu estudo, a partir da incorporação de fibras de coco tratadas em hidróxido de sódio na mistura. Enquanto a mistura sem a presença do material teve como resultado para absorção, 8,68%, para as misturas com 0,5% do resíduo, obtiveram-se resultados de até 60,94%.

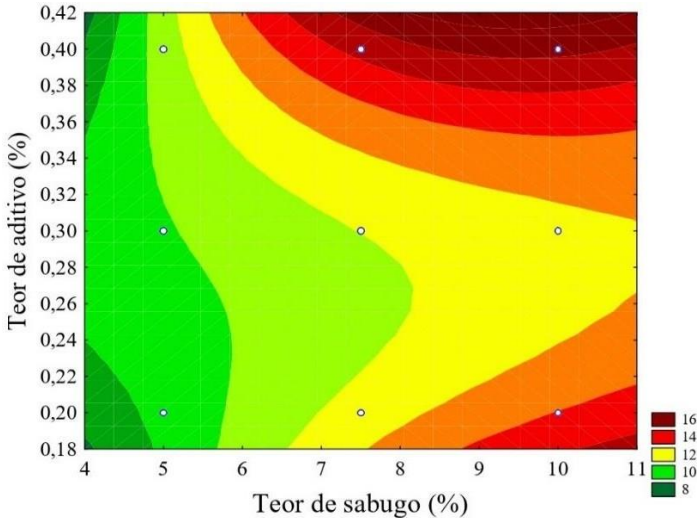
Apesar de o uso de aditivo incorporador de ar geralmente resultar em uma redução na absorção em matrizes cimentícias, quando bem dosado, o mesmo pode elevar esta propriedade. Este comportamento também foi observado por Lermen et al. (2019), que apresentou uma

absorção de 26% para concreto com ar incorporado e 23,6% sem o mesmo na composição.

Kubissa et al. (2021) que também verificou o aumento da absorção de água com o aumento da quantidade de ar à sua mistura, reforçou que numerosos poros quando conectados, podem gerar uma estrutura mais permeável, possibilitando o acesso de agentes agressivos para o interior dos compósitos cimentícios.

Os resultados de absorção para as placas cimentícias, apresentam-se diferentes daqueles encontrados para a argamassa. A diferença de procedimento para cada ensaio pode ter levado a variação dos resultados.

Figura 25 - Superfície de resposta para a absorção de água das placas.



Fonte: Do autor, 2022.

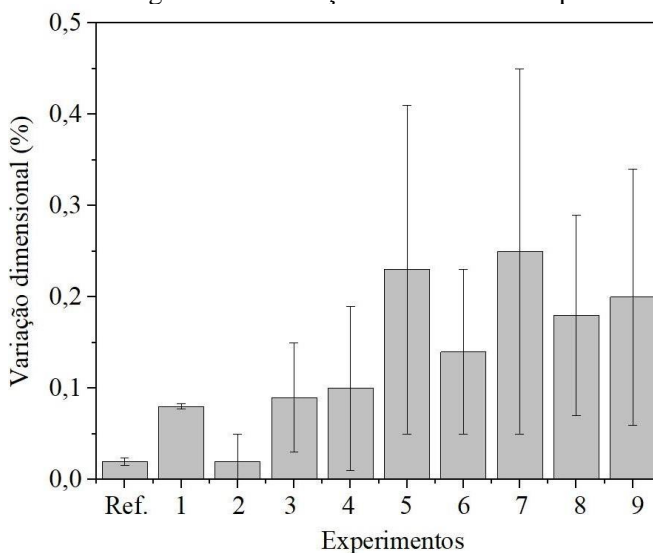
Os resultados médios encontrados para a variação dimensional das placas de fibrocimento, estão apresentados na Tabela 19 e Figura 26.

Tabela 19 - Variação dimensional (V_d) das placas.

Experimento	V_d (g/cm ³)	
	Média	Desvio Padrão
Referência	0,02	0,004
1	0,08	0,003
2	0,02	0,03
3	0,09	0,06
4	0,10	0,09
5	0,23	0,18
6	0,14	0,09
7	0,25	0,20
8	0,18	0,11
9	0,20	0,14

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 26 - Variação dimensional das placas.



Fonte: Do autor, 2022.

Na análise de variância ANOVA, R^2 e R^2 ajustado não apresentaram-se satisfatórios para explicação dos fatores teor de sabugo e teor de aditivos e as interações entre os mesmos. Diferenças estatísticas

não foram observadas, o que revela a não intervenção do aditivo e do resíduo nas composições.

Os valores obtidos no ensaio de variação dimensional mostram que as placas têm uma tendência geral à expansão, já que apresentam-se positivos, quando negativos indicam retração. Apesar de os resultados para as placas com substituição de 7,5% e 10% de areia por sabugo, apresentarem uma variação pouco superior aos demais experimentos, estatisticamente não há variações.

A NBR 15498 (2016) não faz referência explícita sobre quais valores seriam os ideais para placas de fibrocimento. No entanto, as placas comerciais costumam apresentar variação dimensional de no máximo 0,3% (ETERNIT, 2021; DECORLIT, 2022). Logo, todos os resultados apresentam-se similares ou inferiores aos obtidos para as placas de fibrocimento comerciais.

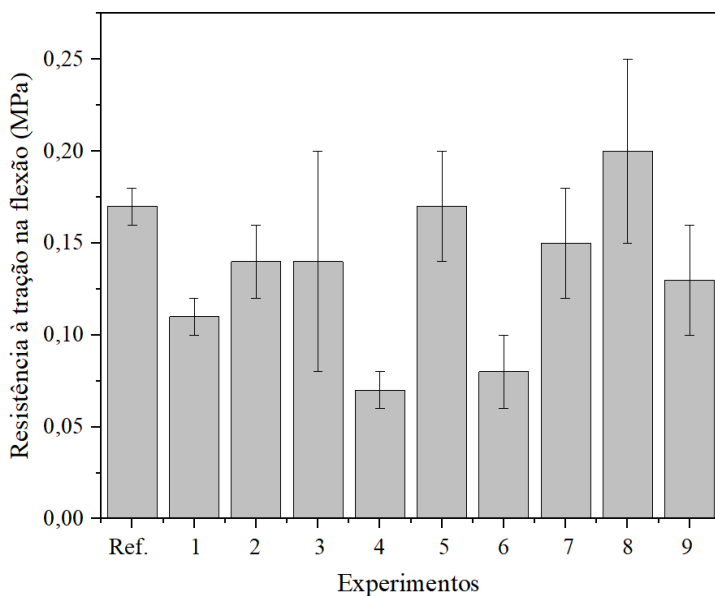
A Tabela 20 e Figura 27, respectivamente, expressam os resultados de resistência à tração na flexão para as placas aos 28 dias.

Tabela 20 - Resistência à tração na flexão (R_f) das placas.

Experimento	R_f (MPa)	
	Média	Desvio Padrão
Referência	0,17	0,01
1	0,11	0,01
2	0,14	0,02
3	0,14	0,06
4	0,07	0,01
5	0,17	0,03
6	0,08	0,02
7	0,15	0,03
8	0,20	0,05
9	0,13	0,03

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 27 - Resistência à tração na flexão das placas.



Fonte: Do autor, 2022.

As placas não apresentaram a resistência mínima exigida pela ABNT NBR 15498 (2016), na condição de equilíbrio, de 4 MPa.

A Tabela 21, demonstra a análise de variância ANOVA para a resistência à tração na flexão das placas. Nela estão indicados os valores de R^2 (0,8894) e R^2 ajustado (0,85664).

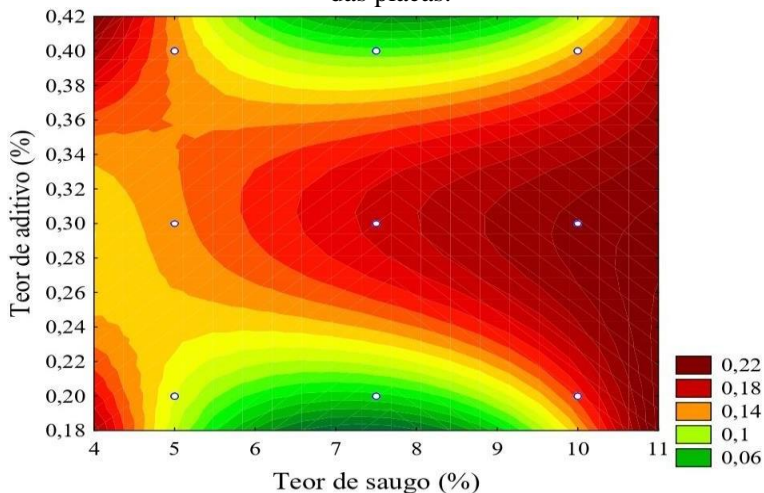
Ao avaliar a superfície resposta (Figura 28), verifica-se que melhores resultados foram obtidos para as placas com menores teores de sabugo e maior teor de aditivo. Também pode-se observar aumento de resistência para os experimentos com maior teor de sabugo. As placas 4 e 6 apresentaram resultados inferiores.

Tabela 21 - Análise de variância ANOVA para a resistência à tração na flexão das placas.

Fator	SS	df	MS	F	p
Teor de sabugo (Q)	0,012099	1	0,012099	14,48126	0,001195
Teor de aditivo (L)	0,013339	1	0,013339	15,96559	0,000774
Teor de aditivo (Q)	0,020030	1	0,020030	23,97387	0,000100
1L x 2L	0,008563	1	0,008563	10,24918	0,004699
1L x 2Q	0,007668	1	0,007668	9,17750	0,006897
1Q x 2L	0,002844	1	0,002844	3,40457	0,080661
1Q x 2Q	0,004934	1	0,004934	5,90591	0,025169
Erro	0,015874	19	0,000835		
Total SS	0,059119	26			
R ²	0,73149				
R ² ajustado	0,63256				
α	0,05				
L=Linear					
Q= Quadrático					
1= Teor de sabugo					
2=Teor de aditivo					

Fonte: Do autor, 2022.

Figura 28 - Superfície de resposta para a resistência à tração na flexão das placas.

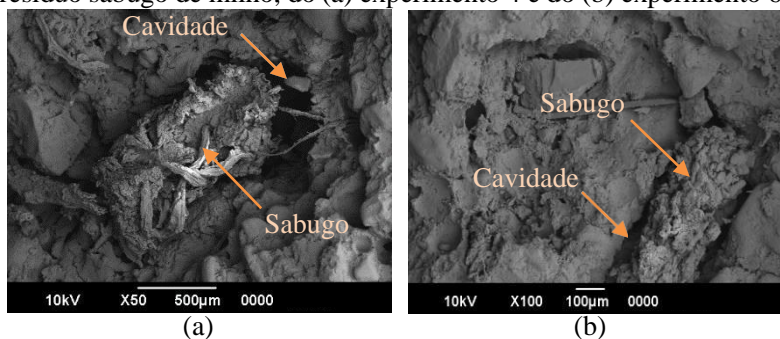


Fonte: Do autor, 2022.

Os melhores resultados de resistência à tração podem estar relacionados com a hidratação da pasta de cimento durante o processo de cura, já que como o sabugo possui alta porosidade, além de absorver grande quantidade de água, o mesmo expõe parte dessa água nesse período. Batool et al. (2021), em sua pesquisa, também verificou um aumento da resistência à tração de até 14%, para misturas contendo 10% de resíduo de madeira tratada, se comparado a menores teores de resíduos.

A partir das análises realizadas no MEV (Figura 29), é possível identificar falhas na aderência do resíduo com a matriz cimentícia, fato este que pode justificar a diminuição dos valores de resistência à flexão na compressão para os experimento 4 e 6.

Figura 29 - Imagens de MEV mostrando as cavidades ao redor do resíduo sabugo de milho, do (a) experimento 4 e do (b) experimento 6.



Fonte: Do autor, 2022.

O teor de aditivo apresentou influência nos resultados. Geralmente a inserção de ar influencia de forma negativa na resistência à tração na flexão, o que foi verificado em alguns experimentos deste estudo, já que as propriedades mecânicas costumam ser maiores quando as matrizes cimentícias possuem menor porosidade (SOUZA, 2020). No entanto, resultados positivos também podem ser obtidos.

Cuenca-Moyano (2020), verificou em sua pesquisa um aumento da resistência à tração na flexão a partir da inserção de aditivo incorporador de ar em compósitos cimentícios. Para o experimento contendo 1% de aditivo incorporador de ar, o resultado para esta propriedade foi de $1,9 \pm 0,05 \text{ N/mm}^2$, o experimento com 6% por sua vez, apresentou um resultado de $2,2 \pm 0,07 \text{ N/mm}^2$.

Pode-se destacar também, que o teor ótimo de aditivo foi de 0,3%, já que para todas as misturas com seus respectivos teores de sabugo, foram os que apresentaram melhor resistência.

5.3.1 Ensaio de durabilidade por ciclagem

O ensaio de durabilidade por ciclagem para as placas foi realizado com os experimentos 2 e 8, já que continham menor e maior quantidade de resíduo em sua composição, além de apresentarem maior resistência à tração na flexão em seus respectivos teores de sabugo.

A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, antes e após o processo de ciclagem.

Tabela 22 - Resistência à tração na flexão das placas antes (R_f sem ciclo) e após ciclos (R_f após ciclo) de envelhecimento.

Experimento	R_f sem ciclo	R_f sem ciclo	R_f após ciclo	R_f após ciclo
	(MPa) média	(MPa) Desvio Padrão	(MPa) Média	(MPa) Desvio padrão
2	2,03	0,61	2,51	0,35
8	2,99	1,06	4,49	1,07

Fonte: Do autor, 2022.

Para analisar se há diferença entre os resultados obtidos para os experimentos antes e após os ciclos, testes estatísticos foram aplicados com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), levando em consideração as seguintes hipóteses:

Teste F

H_0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$; a variância dos resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão sem ciclo (σ_1^2) é igual à variância dos resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão após ciclo (σ_2^2).

H_1 : $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$; a variância dos resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão sem ciclo (σ_1^2) é diferente da variância dos resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão após ciclo (σ_2^2).

Teste t

$H_0: \mu_1 = \mu_2$; a média dos resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão sem ciclo (μ_1) é igual à média dos resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão após ciclo (μ_2).

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$; a média dos resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão sem ciclo (μ_1) é diferente da média dos resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão após ciclo (μ_2).

Tabela 23 - Teste F: duas amostras para variância.

Experimento	σ_1^2	σ_2^2	F	p
2	R _f sem ciclo	R _f após ciclo	3,03	0,114
8			1,00	0,995

Fonte: Do autor, 2022.

Conforme a Tabela 23, para todas as comparações verificou-se $p > \alpha$, sendo $\alpha = 0,05$. Portanto, aceita-se o H_0 . No entanto, o Teste t pressupõe equivalência.

Tabela 24 - Teste t: duas amostras considerando variâncias equivalentes.

Experimento	μ_1	μ_2	t	p
2	R _f sem ciclo	R _f após ciclo	-2,15	0,045
8			-3,15	0,006

Fonte: Do autor, 2022.

A partir da Tabela 24, pode-se observar que para ambos os experimentos os valores revelam $p < \alpha$. O resultado indica que há evidências estatísticas de que as médias são diferentes, logo, rejeita-se H_0 . Entende-se que as amostras sem ciclos apresentaram resultados inferiores as amostras após os ciclos de durabilidade.

Apesar de as matrizes cimentícias apresentarem ganho de resistência principalmente aos 28 dias, maiores tempos de cura podem influenciar neste aspecto. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a exposição da matriz cimentícia à umidade controlada em tempos prolongados de cura tendem a elevar suas propriedades mecânicas.

O experimento 8, após os ciclos, atingiu a resistência mínima de 4MPa indicada pela ABNT NBR 15498 (2016).

A utilização de sabugo nas misturas também pode ter influência no aumento da resistência das placas após as ciclagens. É possível supor que

resíduos de alta absorção podem contribuir para que haja um efeito de cura interna tardia na matriz de cimento.

Um comportamento similar foi observado por Marvila et al. (2020). Em sua pesquisa, as argamassas produzidas com 3% de resíduo de açaí tratado em NaOH e expostas a ciclos de umedecimento e secagem, apresentou resistência à tração na flexão superior à argamassa de referência sem ciclos. Os valores calculados foram de 6,65 MPa para a argamassa contendo 3% de fibra após degradação, enquanto um valor de 6,23 MPa foi avaliado para a argamassa de referência, antes de ser degradada.

Devido ao tempo necessário para realização dos ciclos, os corpos de prova foram ensaiados à resistência à tração 72 dias após os 28 dias de cura, totalizando 100 dias. Esse período de cura, pode explicar a diferença entre os resultados obtidos para resistência à tração na flexão aos 28 dias, de $0,14 \pm 0,02$ e $0,20 \pm 0,05$ MPa, para os experimentos 2 e 8, respectivamente e após 100 dias, $2,03 \pm 0,61$ e $2,99 \pm 1,06$ MPa para os mesmos experimentos. Esses dados indicam um aumento na resistência para as placas ensaiadas aos 100 dias em relação aos 28 dias.

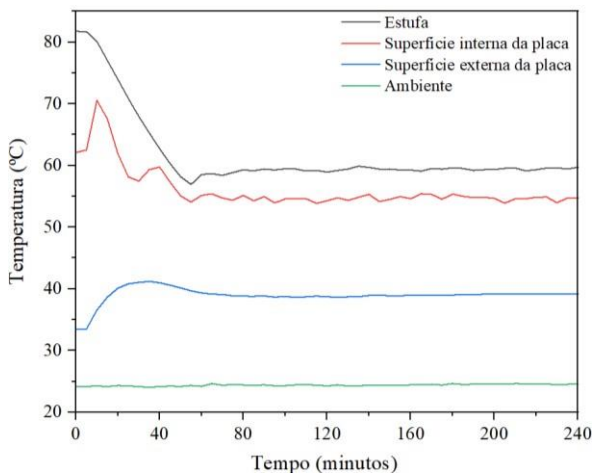
Essa diferença também foi verificada por Bezerra et al. (2011) e Shao et al. (2021), que obtiveram um aumento nas propriedades mecânicas em suas misturas cimentícias, aos 56 e 91 dias, respectivamente, em comparação à cura aos 28 dias.

5.3.2 Ensaio térmico

Para os ensaios térmicos, adotou-se o experimento 8 para comparar com a referência, já que apresentou maior resistência à tração na flexão das placas com maiores teores de resíduo, além do teor ótimo de aditivo.

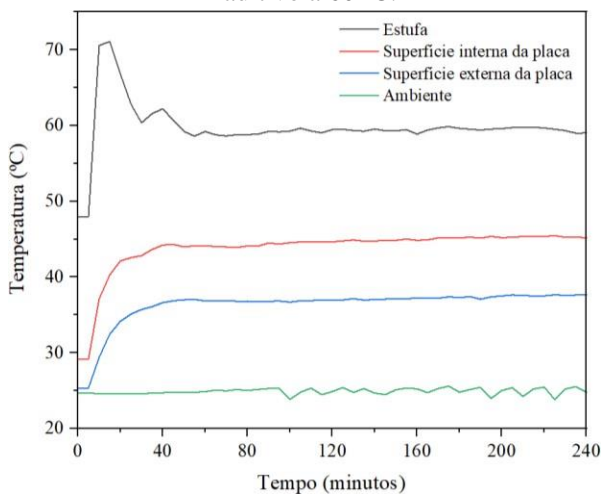
As variações de temperatura das placas com e sem resíduos, submetidas ao contato com a estufa ao longo de 4 horas estão expostas na Figura 30 e 31.

Figura 30 - Resultados do ensaio térmico para a placa de referência a 60 °C.



Fonte: Do autor, 2022.

Figura 31 - Resultados do ensaio térmico para a placa com resíduo e aditivo a 60 °C.



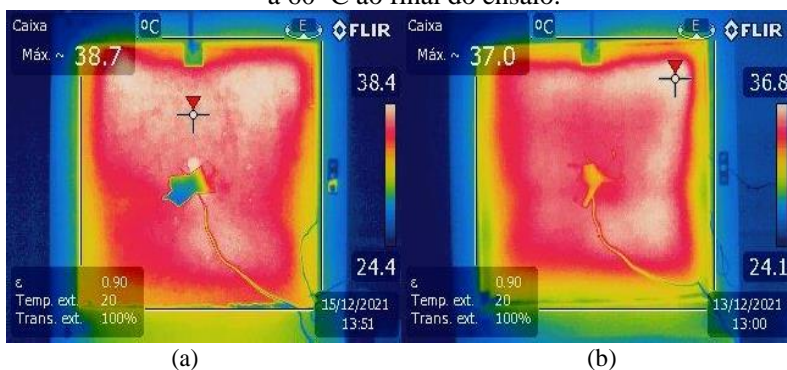
Fonte: Do autor, 2022.

As temperaturas da estufa e da placa interna demoraram aproximadamente 60 minutos até a estabilização, mantendo-se constantes no restante do tempo.

A comparação das temperaturas das superfícies internas das placas em relação ao interior da estufa evidencia uma diferença significativa. A placa referência apresentou uma redução de aproximadamente 5 °C ao final do ensaio, enquanto a placa do experimento 8, resultou em uma diminuição de temperatura de 13,8 °C.

Outra análise, é que as temperaturas da parte externa das placas apresentaram-se inferiores às da parte interna. As fotos termográficas registradas ao final do ensaio à temperatura de 60 °C, encontram-se na Figura 32.

Figura 32 - Fotos termográficas da placa (a) referência e (b) com resíduo a 60 °C ao final do ensaio.



Fonte: Do autor, 2022.

Pode-se observar que a temperatura ao final do ensaio para placa referência foi superior a placa com resíduo em 1,7 °C. Essa diferença pode ser explicada pela inserção do resíduo. De fato, os agregados de sabugo de milho apresentam uma condutividade térmica muito menor, de aproximadamente 0,093W/(mK), do que os outros componentes comumente utilizados em placas (VIEL, 2018).

Além do resíduo, o aditivo incorporado à argamassa de preenchimento das placas leva a uma elevação de porosidade da estrutura. A porosidade da matriz cimentícia está relacionada a propriedades térmicas, com o aumento de poros, a condutividade térmica é reduzida

(SRIKANTH, 2022). Conforme Mendes et al. (2019), a distribuição do tamanho dos poros também influencia, sendo que quanto mais poros, menor será a propriedade.

Gomes et al. (2018) afirma ainda que a condutividade eleva-se proporcionalmente ao aumento da densidade.

Binici et al. (2020) avaliaram a condutividade térmica de compósitos cimentícios contendo esponja de talo de girassol e talo de trigo na composição. O experimento de referência, com $0,340\text{g/cm}^3$ de densidade, apresentou condutividade térmica de $0,245\text{ W/mK}$, enquanto a mistura com 5% de esponja de talo de girassol e 10% de talo de trigo, teve como resultado $0,166\text{g/cm}^3$ de densidade e $0,095\text{ W/mK}$ de condutividade térmica.

5.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Com a finalidade de comparar os resultados dos ensaios das amostras contendo resíduo com a argamassa de referência, utilizou-se o experimento 8, já que o mesmo apresentou o melhor resultado de resistência à tração na flexão para as placas de fibrocimento com maior quantidade de resíduo.

Para analisar se há diferença entre os resultados obtidos para os experimentos referência e com teor de resíduo, aplicaram-se testes estatísticos com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), com as seguintes hipóteses:

Teste F

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$; a variância da amostra de referência (σ_1^2) é igual à variância da amostra do experimento 8 (σ_2^2).

$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$; a variância da amostra de referência (σ_1^2) é diferente da variância da amostra do experimento 8 (σ_2^2).

Teste t

$H_0: \mu_1 = \mu_2$; a média da amostra de referência (μ_1) é igual à média da amostra do experimento 8 (μ_2).

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$; a média da amostra de referência (μ_1) é diferente da média da amostra do experimento 8 (μ_2).

Nas Tabelas 25, 26 e 27, encontram-se as análises estatísticas para comparação entre os resultados dos ensaios entre as misturas de referência e experimento 8.

Tabela 25 - Teste F: duas amostras para variância.

Ensaio	σ_1^2	σ_2^2	F	p
Absorção aos 10 minutos (argamassa)			0,04	0,073
Absorção aos 90 minutos (argamassa)			0,25	0,399
Coefficiente de capilaridade (argamassa)			1,55	0,784
Tração na flexão (argamassa)	Ref.	Exp. 8	0,33	0,501
Compressão (argamassa)			2,13	0,427
Densidade (placa)			8,29	0,116
Absorção de água (placa)			0,01	0,003
Varição dimensional (placa)			0,00	0,001
Tração na flexão (placa)			0,01	0,025

Fonte: Do autor, 2022.

Conforme a Tabela 25, todas as comparações, com exceção dos ensaios de absorção de água, variação dimensional e resistência à tração na flexão para as placas, verificou-se $p > \alpha$, sendo $\alpha = 0,05$. Portanto,

aceita-se o H_0 , pois não encontram-se diferenças estatísticas de que as variâncias não são equivalentes. O Teste t, no entanto, pressupõe equivalência. Para os demais ensaios, rejeita-se H_0 e aplica-se o Teste t para variâncias diferentes.

Tabela 26 - Teste t: duas amostras considerando variâncias equivalentes.

Ensaio	μ_1	μ_2	t	p
Absorção aos 10 minutos (argamassa)			-1,7418	0,1565
Absorção aos 90 minutos (argamassa)			2,0733	0,1068
Coefficiente de capilaridade (argamassa)	Ref.	Exp. 8	7,5084	0,0017
Tração na flexão (argamassa)			9,8015	0,0006
Compressão (argamassa)			35,90	$6,68 \times 10^{-12}$
Densidade (placa)			12,43	$1,66 \times 10^{-5}$

Fonte: Do autor, 2022.

Tabela 27 - Teste t: duas amostras considerando variâncias não equivalentes.

Ensaio	μ_1	μ_2	t	p
Absorção de água (placa)			-10,1498	0,0020
Varição dimensional (placa)	Ref.	Exp. 8	-1,75	0,179
Tração na flexão (placa)			-1,0011	0,4223

Fonte: Do autor, 2022.

A partir das Tabelas 26 e 27, pode-se observar que exceto os ensaios absorção aos 10 minutos e 90 minutos, os valores revelam $p < \alpha$. Tal resultado indica que há evidências estatísticas de que as médias são diferentes, logo, rejeita-se H_0 .

Para absorção aos 10 minutos, absorção aos 90 minutos, variação dimensional e tração na flexão das placas, apresentou-se $p > \alpha$, portanto aceita-se H_0 . Não há evidências estatísticas de que as médias são

diferentes. Logo, a inserção de sabugo de milho nas misturas não prejudicou as propriedades mencionadas aos 28 dias.

Examinando os resultados dos ensaios, entende-se que a resistência à tração na flexão, à compressão e o coeficiente de capilaridade dos corpos de prova da argamassa são superiores para referência em relação ao experimento 8. O mesmo pode ser observado para o ensaio de densidade para placas de fibrocimento. No entanto, para o ensaio de absorção de água das placas, os resultados obtidos do experimento de referência são inferiores ao experimento 8.

As reduções na resistência da argamassa estão relacionadas com a substituição da areia pelo sabugo de milho. Esta observação pode ser parcialmente atribuída às fracas interfaces desenvolvidas entre o resíduo e a pasta de cimento, além do aumento de porosidade que o mesmo pode gerar.

Ince, Tayançlı e Derogar (2021), apresentaram em sua pesquisa, uma redução de aproximadamente 30% entre os resultados obtidos para as misturas de argamassa de referência e para mistura com substituição de 5% de areia por pó de madeira, para o ensaio de resistência à tração na flexão.

Prado et al. (2021), verificou uma redução de 47,7% de resistência à compressão, para argamassa contendo um teor de 3% de resíduo do bagaço da cana-de-açúcar após tratamento, se comparado ao traço de referência.

O aditivo na mistura também pode reduzir a resistência da argamassa, devido ao aumento do teor de ar incorporado à mesma. Sousa (2019), apresentou redução nas propriedades mecânicas da argamassa com 0,5% de aditivo incorporador de ar, em até 67%, se comparado a argamassa referência.

O coeficiente de capilaridade pode ser explicado pela inserção do aditivo, que devido ao ar incorporado na argamassa tende a desconectar os poros capilares e consequentemente apresentar-se inferior à mistura sem presença de aditivo.

A densidade do experimento 8 apresenta-se inferior à referência, devido a incorporação do resíduo na mistura, que possui menor densidade que a areia, $1,38\text{g/cm}^3$ e $2,64\text{g/cm}^3$, respectivamente e a inserção de ar à composição.

Schackow et al. (2019) apresentou um resultado para densidade de massa de $1520,7\text{ kg/m}^3$ para a mistura com 0,5% de ar incorporado e $1727,9\text{ kg/m}^3$ para a argamassa convencional.

O aumento da absorção para o experimento 8 em relação aos corpos de prova referência, pode estar relacionado a absorção superior do sabugo de milho em relação a areia, sendo que a areia apresentou absorção média de 0,30% e o resíduo após tratamento, 19,53%.

6 CONCLUSÃO

O sabugos de milho são compostos por celulose e possuem massa específica de $0,95 \text{ g/cm}^3$ e absorção de água de 11,75%. Após o tratamento com a solução de hidróxido de sódio, essas propriedades foram alteradas, assim como a granulometria e o tamanho superficial do resíduo.

Para as propriedades de absorção da argamassa utilizada para preenchimento das placas, os resultados demonstraram que as argamassas com menor teor de sabugo e maior teor de sabugo e aditivo, apresentaram maior absorção por capilaridade, oriundo do aumento de porosidade da matriz cimentícia.

Similar as propriedades físicas, as propriedades mecânicas de resistência à compressão e tração na flexão foram afetadas para as mistura com menor e maior teor de sabugo, além do aumento de aditivo incorporado à mistura, atribuído ao aumento das bolhas de ar na mistura e a interface entre matriz cimentícia e resíduo. Todos os resultados apresentaram-se inferiores a referência. Mesmo com essa redução, atingiram-se os valores mínimos estabelecidos pelas normas nos ensaios de resistência à compressão (1,5 MPa) e à tração na flexão (1,0 MPa).

O aumento do resíduo e aditivo nas placas de fibrocimento, levaram a uma redução de densidade e aumento da absorção, que relaciona-se com a massa específica inferior do sabugo se comparado a areia e ao aumento das bolhas de ar incorporado às misturas. A variação dimensional das placas não foram afetadas de forma significativa com a inserção do resíduo e aditivo.

O resultado de resistência à tração na flexão das placas, exceto para o experimento 8, não demonstraram que o resíduo e o aditivo foram eficientes para esta propriedade. As placas não apresentaram a resistência mínima exigida pela norma (4 MPa).

Ao testar as argamassas com teores de 5% e 10% de sabugo, após exposição de ciclos de envelhecimento, verificou-se que a resistência à tração na flexão das amostras aumentou se comparado as argamassas não expostas, principalmente com a maior quantidade de resíduo.

Apesar de as propriedades das argamassas e das placas contendo resíduo e aditivo, apresentem-se em sua maioria inferiores às de referência, a mistura com maior teor de resíduo quando submetida ao ensaio térmico a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, indicou uma temperatura da sua superfície interna na estufa de aproximadamente $8 \text{ }^\circ\text{C}$ menor que a da referência, pois o

resíduo e a porosidade contribuem para o isolamento térmico. Essa característica revela um aumento do conforto térmico a partir da inserção de sabugo de milho em placas de fibrocimento.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugerem-se como temas de pesquisa para outros trabalhos:

- Avaliar as propriedades mecânicas e físicas das argamassas com sabugo de milho tratado em solução de hidróxido de sódio em diferentes concentrações.
- Verificar o comportamento do sabugo de milho em diferentes composições granulométricas na matriz cimentícia.
- Buscar alternativas para os resíduos da indústria agrícola.

REFERÊNCIAS

ABIMILHO. **Associação brasileira das indústrias de milho**. 2020. Disponível em: <http://www.abimilho.com.br/>. Acesso em: 05 jun. 2020.

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

ABNT 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.

ABNT 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.

ABNT NBR NM 248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT NBR NM 30. **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT NBR NM 45. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT NBR NM 52. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT NBR 15498. **Placa de fibrocimento sem amianto — Requisitos e métodos de ensaio**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2016.

A. Canal , M. Cobos , F. Cuadros , *et al.* Avaliação da produção de biomassa na Extremadura (primeira ed.) , Agência de Energia da Extremadura , Badajoz, Espanha, 2007.

AKERS, S. A. S. Cracking in fibre cement products. *Construction and Building Material*, vol.24, edição 1, p. 202-207, 2010.

ANTONIAZZI, Juliana Pippi; MOHAMAD, Gihad; CASALI, Juliana Machado. Influence of cement type, air-entrained admixture and hydration stabilizing admixture on mortars' setting time. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 1-17, 2021.

ANUKAM, Anthony I.; GOSO, Boniswa P.; OKOH, Omobola O.; MAMPHWELI, Sampson N.. Studies on Characterization of Corn Cob for Application in a Gasification Process for Energy Production. **Journal Of Chemistry**, [S.L.], v. 2017, p. 1-9, 2017.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; GARCIA-HORTAL, J.A.; BARRA, M. Fiber-matrix interactions in cement mortar composites reinforced with cellulosic fibers. *Cellulose*, [s.l.], v. 18, n. 2, p.281-289, 12 jan. 2011.

ASDRUBALI, Francesco; D'ALESSANDRO, Francesco; SCHIAVONI, Samuele. A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 4, p. 1-17, 2015.

BARACHO JUNIOR, Expedito. **Uso de resíduos lignocelulósicos na confecção de compósitos de cimento e areia para fins construtivos não estruturais**. 2016. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2016.

BASHEER, L.; KROPP, J; CLELAND, D. J. Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review. *Construction and Building Materials*, v. 15, n. 2-3, p. 93-103, 2001.

BATOOL, Farnaz; ISLAM, Kamrul; CAKIROGLU, Celal; SHAHRIAR, Anjuman. Effectiveness of wood waste sawdust to produce medium- to low-strength concrete materials. *Journal Of Building Engineering*, [S.L.], v. 44, p. 103237, dez. 2021

BENTA, E.S.; Estudo da secagem de sabugo de milho em ciclone. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Processos, Faculdade de Engenharia Química, Campinas-SP, 1997.

BERALDO, A. L. Durabilidade de compósitos biomassa vegetal-cimento modificado por polímeros. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 344-353, 2006.

BETIOLI, Andrea Murillo; FORTUNATO, Morgana; MARTINS, Ben-Hur Raíra; CASALI, Juliana Machado; ROCHA, Janaíde Cavalcante; COLLODETTI, Giovana. Efeito da composição granulométrica e da área superficial específica de resíduos de polimento de porcelanato em argamassas autoadensáveis. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 385-402, jul. 2020.

BEZERRA, Izabelle M. T.; SOUZA, Jozilene; CARVALHO, João B. Q. de; NEVES, Gelmires A.. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 639-645, jun. 2011.

BIAVA, J. de F.; CARNEIRO, R. C.&IRRIGARAY, M. A. P. Influência do aditivo incorporador de ar nas propriedades de argamassas de emboço no estado endurecido. In: 23º CBECiMat-Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, Brasil, 2018.

BINICI, Hanifi; AKSOGAN, Orhan; DĐNCER, Aytac; LUGA, Erion; EKEN, Mustafa; ISIKALTUN, Ozge. The possibility of vermiculite, sunflower stalk and wheat stalk using for thermal insulation material production. *Thermal Science And Engineering Progress*, [S.L.], v. 18, p. 100567, ago. 2020.

BONFOGO, Guilherme Pereira. **influência do processo de autoclave na estabilidade dimensional de placas cimentícias**. 2018. 76 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, Lorena, 2018

CALLISTER, W.D.; RETHWISCH, D. G.; MENEGUZZI . *Ciencia e engenharia de materiais: uma introdução*. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

CASTRO, Tainara Rigotti de; MARTINS, Carlos Humberto. Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 137-151, set. 2016

CHEBOUB, Tayyib; SENHADJI, Yassine; KHELAFI, Hamid; ESCADEILLAS, Gilles. Investigation of the engineering properties of environmentally-friendly self-compacting lightweight mortar containing olive kernel shells as aggregate. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 249, p. 119406, mar. 2020.

CLAISSE, P. A. *Transport Properties of Concrete: Measurement and applications*. 1. ed. Oxford: Elsevier, 312 p. 2014.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2022. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-milho.html>. Acesso em: 01 ago. 2022.

FARIA, Douglas Lamounier; EUGENIO, Tony Matheus Carvalho; MESQUITA JÚNIOR, Laércio; PEREIRA, Tamires Galvão Tavares; CRUZ, Thiago Moreira; DUARTE, Paulo Junio; PROTÁSIO, Thiago de Paula; MENDES, Lourival Marin; GUIMARÃES JUNIOR, José Benedito. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado miúdo por resíduo agrícola. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 184-197, 2 abr. 2020.

FAUSTINO, Fernanda C.; SANTANA JÚNIOR, José A.; CERQUEIRA, Daniel A.; ATAÍDE, Carlos H.; CARDOSO, Cássia R.. Evaluation of the Pyrolytic Potential of Agro-Industrial Wastes from Rice and Corn. *Revista Virtual de Química*, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 1882-1893, 2019.

FERREIRA, Edson Aparecido. **Avaliação das propriedades mecânicas e térmicas de um composto polimérico reforçado por particulados de sabugo de milho triturado**. 2017. 149 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2017.

FERREIRA-LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.; NEPOMUCENO, A. L.; MOLINARI, H. B. C.; BOM, E. P. S. Biomass residues in Brazil: Availability and potential uses. *Waste Biomass Valorization*. v. 1, n. 1, p. 65- 76, 2010.

FONSECA, Régis Pamponet da. Influência de diferentes tipos de fibras vegetais amazônicas no desempenho de uma argamassa a base de cimento Portland e Metacaulim. 2021. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

FREITAS, E. M. da S. G. .; TOSTA, D. S.; GÜTHS, S. .; MILANI, A. P. da S. . Produção de placas cimentícias com borracha de pneu inservível para uso em forros de habitações. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2019. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 1–6.

GOMES, M. Glória; FLORES-COLEN, I.; SILVA, F. da; PEDROSO, M.. Thermal conductivity measurement of thermal insulating mortars with EPS and silica aerogel by steady-state and transient methods. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 172, p. 696-705, maio 2018.

GRAICH, Abderrazzak. Using Portland Cement to Stabilize/Solidify Sludge Residue from Treatment of Cardboard Plant Wastewater. American Society Of Civil Engineers, Não Tem, v. 3, n. 24, p. 040200121-040200128, jan. 2020.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro; ANDRADE, Érica Souza. PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM EVA (ETHYLENE VINYL ACETATE) EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO. Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 174-192, 13 mar. 2017.

HOFMANN, Giane Alfenas Antunes. Tratamentos de juntas invisíveis em placas cimentícias no fechamento de sistemas Light Steel Framing. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

JÖNSSON, L. J; MARTÍN, C. Pretreatment of lignocellulose: Formation of inhibitory by-products and strategies for minimizing their effects. Bioresource Technology, v. 199, p. 103-112, 2016.

KAZIENKO, N.C.B.; Gerenciamento de resíduos agroindustriais gerados na pré-limpeza de grãos de milho em Santa Fé del Paraná, Paraguai. p. 23, Foz do Iguaçu-PR, 2009.

KUBISSA, Wojciech; JASKULSKI, Roman; GRZELAK, Michał. Torrent air permeability and sorptivity of concrete made with the use of air entraining agent and citric acid as setting retardant. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 268, p. 121703, jan. 2021.

KUNCHARIYAKUN, Kittipong; SINYOUNG, Suthatip; KAJITVICHYANUKUL, Puangrat. Comparative microstructures and mechanical properties of mortar incorporating wood fiber waste from various curing conditions. *Case Studies In Construction Materials*, [S.L.], v. 16, p. 855, jun. 2022.

LERMEN, Richard Thomas; FAVARETTO, Patrícia; SILVA, Rodrigo de Almeida; HIDALGO, Gelsa Edith Navarro; TUBINO, Rejane M. C.; TIECHER, Francieli. Effect of Additives, Cement Type, and Foam Amount on the Properties of Foamed Concrete Developed with Civil Construction Waste. *Applied Sciences*, [S.L.], v. 9, n. 15, p. 2998, 26 jul. 2019.

LOSS, E. M. S. Aproveitamento de resíduos da cadeia produtiva do milho para cultivo de cogumelos comestíveis. *Dissertação de Mestrado Universidade Estadual de Ponta Grossa*, 2009.

LUHAR, Salmabanu; CHENG, Ta-Wui; LUHAR, Ismail. Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: a review. *Composite part B: Engineering*, [S.L.], v. 175, p. 107076-107086, out. 2019.

MARVILA, Markssuel T.; AZEVEDO, Afonso R.G.; CECCHIN, Daiane; COSTA, Jônatas M.; XAVIER, Gustavo C.; CARMO, Dirlane de Fátima do; MONTEIRO, Sergio N.. Durability of coating mortars containing açaí fibers. *Case Studies In Construction Materials*, [S.L.], v. 13, p. 125-125, dez. 2020.

MARTINS, J. G.; ASSUNÇÃO, J. S. *Materiais de construção: argamassas e rebocos*. 3ª ed. Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2010.

MELO, S.R.F.; Atividades biológicas de xilana de sabugo de milho. Dissertação de Mestrado, Departamento de bioquímica, Universidade Federal do Rio grande do Norte, Natal-RN, 2010.

MENDES, Júlia Castro; BARRETO, Rodrigo Rony; PAULA, Ana Carolina Barbieri De; ELÓI, Fernanda Pereira da Fonseca; BRIGOLINI, Guilherme Jorge; PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti. On the relationship between morphology and thermal conductivity of cementbased composites. *Cement and Concrete Composites*, v. 104, p. 103365, 2019

MENEZES, Diego B.; BRAZIL, Osiris A. V.; ROMANHOLO-FERREIRA, Luiz F.; POLIZELI, Maria de Lourdes T. M.; RUZENE, Denise S.; SILVA, Daniel P.; COSTA, Luiz P.; HERNÁNDEZ-MACEDO, Maria Lucila. Prospecting fungal ligninases using corncob lignocellulosic fractions. *Cellulose*, [S.L.], v. 24, n. 10, p. 4355-4365, 29 jul. 2017.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON, 2008, 61-65.

MORENO, João Roberto Sartori. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE UM COMPÓSITO POLIMÉRICO COM SABUGO DE MILHO TRITURADO. *Revista Iberoamericana de Polímeros y Materiales*, v. 19, n. 3, p. 104-115, maio 2018.

MOUBARIK, A., GRIMI, N., BOUSSETTA, N., “Structural and thermal characterization of Moroccan sugar cane bagasse cellulose fibers and their applications as a reinforcing agent in low density polyethylene”, *Composites Part B: Engineering*, v. 52, p. 233-238, 2013.

M.S., Lekshmi; VISHNUDAS, Subha; ANIL, K.R.. Lignocellulosic materials as reinforcement and replacement for binders in masonry mortar. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 282, p. 122607, maio 2021.

NEVILE, A.M. *Propriedades do concreto*. Tradução Salvador E. Giammusso. 2 ed. São Paulo. PINI, 1997.

OLIVEIRA, Gabriel Henrique Horta de; CORRÊA, Paulo Cesar; SANTOS, Fábio Lúcio; VASCONCELOS, Wander Luiz; CALIL JÚNIOR, Carlito; BAPTISTINI, Fernanda Machado; VARGAS-ELÍAS, Guillermo Asdrúbal. Caracterização física de café após torrefação e moagem. *Semina: Ciências Agrárias*, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 1813, 27 ago. 2014.

OLIVEIRA, M. L., Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de resíduos vegetal proveniente do sabugo de milho. Dissertação em Engenharia de Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2015.

OLIVEIRA, Tawan Mundim de; GERIN, Mayara Turi. Absorção de água e massa específica de agregados graúdos e miúdos de resíduos de concreto. Gramado, 2020.

PAIVA, Rayane de Lima Moura; CALDAS, Lucas Rosse; MARTINS, Adriana Paiva de Souza; TOLEDO FILHO, Romildo Dias. Potentiality of earth-based mortar containing bamboo particles for GHG emissions reduction. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 317, p. 125971, jan. 2022.

PASSOS, P. M.; CARASEK, H.. Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto. *Cerâmica*, [S.L.], v. 64, n. 372, p. 577-588, dez. 2018.

PÁSZTORY, Zoltán; HORVÁTH, Tibor; GLASS, Samuel V.; ZELINKA, Samuel. Experimental investigation of the influence of temperature on thermal conductivity of multilayer reflective thermal insulation. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 174, p. 26-30, set. 2018.

PINTO, Jorge; PAIVA, Anabela; VARUM, Humberto; COSTA, Ana; CRUZ, Daniel; PEREIRA, Sandra; FERNANDES, Lisete; TAVARES, Pedro; AGARWAL, Jitendra. Corn's cob as a potential ecological thermal insulation material. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 43, n. 8, p. 1985-1990, ago. 2011.

PINTO, Jorge; VIEIRA, Barbosa; PEREIRA, Hélder; JACINTO, Carlos; VILELA, Paulo; PAIVA, Anabela; PEREIRA, Sandra; CUNHA, Vítor

M.C.F.; VARUM, Humberto. Corn cob lightweight concrete for non-structural applications. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 34, p. 346-351, set. 2012.

PRADO, G.; Palma, G.; Geraldo. PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS CONTENDO FIBRA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR. *Journal of Innovation and Science: research and application*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 8 p., 2021

PAULUZZI PRODUTOS CERÂMICOS LTDA. Desempenho: Sistemas de alvenaria com blocos cerâmicos. 2015.

PINTO, Jorge; SÁ, Ana Briga; PEREIRA, Sandra; BENTES, Isabel; PAIVA, Anabela. Possible Applications of Corncob as a Raw Insulation Material. **Insulation Materials In Context Of Sustainability**, [S.L.], 31 ago. 2016.

PINTO, Jorge; VIEIRA, Barbosa; PEREIRA, Hélder; JACINTO, Carlos; VILELA, Paulo; PAIVA, Anabela; PEREIRA, Sandra; CUNHA, Vítor M.C.F.; VARUM, Humberto. Corn cob lightweight concrete for non-structural applications. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 34, p. 346-351, set. 2012.

QUIAO, M.; CHEN, J.; YU, C.; WU, S.; GAO, N.; RAN, Q. Gemini surfactants as novel air entraining agents for concrete. *Cement and Concrete Research* V 100 Pag 40-46, Outubro, 2017.

RAMOS, R.R.F. Desenvolvimento de compósitos de polipropileno com sabugo de milho provenientes de resíduos agrícolas. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba. 2013.

RAO, H.S.; MUNIRATHNAM, K.; GHORPADE, V.G.; G; SASHIDHAR, C. Influence of natural rubber latex on permeability of fibre reinforced high performance concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering & Technology*. Vol. 2, p. 2715-2720, jul. 2013.

ROCHA, Thaísa Mariana Santiago; MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach; PARCHEN, Carlos Frederico Alice. Influência da

composição granulométrica das partículas de resíduos de madeira nas propriedades de compósitos minerais: parte 1 - cimento-madeira. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 113-126, set. 2019.

ROSA, Fábio Severo da. ISOLANTE TÉRMICO À BASE DE SABUGO DE MILHO. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 147-146, mar. 2019.

SABBATINI, Fernando Henrique; BAÍA, Luciana Leone Maciel. Projeto e execução de revestimento argamassa. IV ed.. São Paulo: O nome da Rosa, set. 2008.

SANTANA R.C. et. al.; Resíduos agrícolas em novas e modernas possibilidades de aplicação industrial. 2009.

SANTOS, A.F.; Imobilização de invertase comercial e de *saccharomyces cerevisiae* em sabugo de milho e bagaço de cana-de-açúcar. Dissertação de Mestrado, Departamento de Alimentos e Nutrição, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara-SP, 2010.

SANTOS, M.S.R. Estudo de pré-tratamentos de palha e sabugo de milho visando a produção de etanol 2G. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas, 2014.

SAVASTANO JR. H. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. Universidade politécnica de são Paulo, departamento de engenharia civil, dissertação (livre docência), São Paulo, 2000.

SCHACKOW, A.; FERRARI, A. K.; EFFTING, C.; ALVES, V. O.; GOMES, I. R.. Stabilized mortar with air incorporator agent and plasticizer set retarder: performance measurement. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1248-1259, dez. 2019.

SHAH, Hammad Ahmed; YUAN, Qiang; ZUO, Shenghao. Air entrainment in fresh concrete and its effects on hardened concrete-a review. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 274, p. 121835, mar. 2021.

SHAO, Ke; DU, Yunxing; FENZHOU. Feasibility of using treated corn cob aggregates in cement mortars. *Construction And Building Materials*, China, v. 271, fev. 2021.

SILVA, A. C. Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose. Universidade politécnica de são Paulo, departamento de engenharia civil, dissertação (mestrado), São Paulo, 2002.

SILVA, Everton. Revista Eletrônica em APLICAÇÃO DE FIBRA DE COCO EM MATRIZES CIMENTÍCIAS *Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. [S.L.], v. 8, n. 8, p.1555-1561, dez. 2012.

SILVA, H.S. **ADIÇÃO DE CINZA DE SABUGO DE MILHO EM FORMULAÇÕES DE CERÂMICA VERMELHA**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal, 2016.

SILVA, Jussara Adílio da. Análise das características físicas e propriedades mecânicas da argamassa de revestimento com inserção de resíduos de madeira. Criciúma,. 2019.

SOUSA, Luis Henrique Oliveira de. EFEITO DO ADITIVO INCORPORADOR DE AR NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO. **Revista Ciatic**, v. 11, n. 2, p. 36-44, 2019.

SOUZA, Alessandra Tolentino; CARVALHAIS, Catharina de Almeida; SANTOS, White Jose dos. Analysis of chemical admixtures combination on coating mortar using Simplex network method. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 239, p. 117796, abr. 2020.

SOUZA, Evandro Francisco Ferreira da Silva. Avaliação da capacidade adsorptiva do sabugo de milho triturado. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**. Curitiba, p. 1174-1190. set. 2019.

SPINELLI, Rodrigo; CARNEIRO, Luã; PASQUALI, Pedro Henrique Dall Agnol; PITOL, Alana Francischett; CAMBEIRO, Faustino Patiño; KONRAD, Odorico. ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS COM UTILIZAÇÃO DE ELEMENTO VEGETAL. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 9, p. 686-692, 21 fev. 2020.

SRIKANTH, Gowsijan; FERNANDO, Ashani; SELVARANJAN, Kajanjan; GAMAGE, J.C.P.H.; EKANAYAKE, Lesly. Development of a plastering mortar using waste bagasse and rice husk ashes with sound mechanical and thermal properties. **Case Studies In Construction Materials**, [S.L.], v. 16, jun. 2022.

SUN, Jianfei; DING, Ran; YIN, Jianzhong. Pretreatment of corn cobs and corn stalks with tetrabutyl phosphate hydroxide ionic liquid to enhance enzymatic hydrolysis process. *Biochemical Engineering Journal*, [S.L.], v. 177, p. 108270, jan. 2022.

TAMANINI, C.; HAULY, M.C.O.; Resíduos agroindustriais para produção biotecnológica de xilitol. *Semina: Ciências Agrárias*, 25(4), p. 315-330, 2004.

TEMOCHE ESQUIVEL, J. F. **Avaliação da influência do Choque Térmico na Aderência dos Revestimentos de Argamassa**. 2009, 262 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

TRENTIN, Priscila Ongaratto. Avaliação da influência da utilização de diferentes teores de cal e aditivo incorporador de ar em argamassas produzidas com 70% de areia de britagem. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, [s. l], v. 12, n. 3, p. 259-270, out. 2020.

TSENG, R.L.; TSENG, S.K.; Pore structure and adsorption performance of the KOH-activated carbons prepared from corncob. **Journal of Colloid and Interface Science**, 287(2), p. 428-437 2005.

TUNSTALL, Lori E.; LEY, M. Tyler; SCHERER, George W.. Air entraining admixtures: mechanisms, evaluations, and interactions. **Cement And Concrete Research**, [S.L.], v. 150, p. 106557, dez. 2021.

UNPINIT , T. Poblarp , N. Sailoon , P. Wongwicha , M. Thabuot. **Propriedades de combustível de biocélulas produzidas a partir de materiais selecionados sob várias pressões de compactação de procedimento Energético**, pp. 657 – 662, 2015.

USDA. **United States Department of Agriculture**. 2018. Disponível em: <https://www.ams.usda.gov/market-news/livestock-poultry-grain>. Acesso em: 05 maio 2020.

VIEIRA, A. C. Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia. 2012. 56f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

VIEL, Marie; COLLET, Florence; LANOS, Christophe. Chemical and multi-physical characterization of agro-resources' by-product as a possible raw building material. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 120, p. 214-237, set. 2018.

W. Ahmed, R.A. Khushnood, S.A. Memon, S. Ahmad, W.L. Baloch, M. Usman. Effective use of sawdust for the production of eco-friendly and thermal-energy efficient normal weight and lightweight concretes with tailored fracture properties. *J. Cleaner Prod.*, 184, pp. 1016-1027, 2018.

ZIGLIO, B.R.B. et. al.; Elaboração de pães com adição de farinha de sabugo de milho. *RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais*, 2009.

ZHU, Lin; DANG, Faning; XUE, Yi; JIAO, Kai; DING, Weihua. Multivariate analysis of effects of microencapsulated phase change materials on mechanical behaviors in light-weight aggregate concrete. **Journal Of Building Engineering**, [S.L.], v. 42, p. 102783, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2021>.

APÉNDICE(S)

APÊNDICE A – Tabela de Absorção de água e coeficiente de capilaridade das argamassas.

Amostra*	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	A10 (g/cm ²)	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	A90 (g/cm ²)	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	C (g/dm ² .√min)	Média (g/dm ² .√min)	Desvio Padrão (g/dm ² .√min)
R.1	399,30	403,21	409,09	0,24			0,61			5,88		
R.2	402,20	406,10	412,52	0,24	0,23	0,02	0,65	0,56	0,06	6,42	5,75	0,61
R.3	401,90	405,33	410,28	0,22			0,52			4,95		
1.1	401,00	405,24	412,14	0,26			0,69			6,9		
1.2	404,50	409,08	415,52	0,28	0,25	0,04	0,69	0,63	0,09	6,44	6,12	0,98
1.3	381,10	384,60	389,61	0,21			0,53			5,01		
2.1	398,40	402,02	406,99	0,22			0,53			4,97		
2.2	412,50	416,01	420,94	0,22	0,22	0,00	0,53	0,52	0,01	4,93	4,82	0,23
2.3	394,87	398,45	403,01	0,22			0,51			4,56		
3.1	384,02	387,75	391,42	0,23			0,46			3,67		
3.2	384,59	388,79	393,08	0,26	0,26	0,03	0,53	0,52	0,05	4,29	4,12	0,40
3.3	386,13	390,68	395,09	0,28			0,56			4,41		
4.1	397,88	401,18	404,36	0,21			0,41			3,18		
4.2	404,40	407,90	411,50	0,22	0,215	0,01	0,44	0,42	0,02	3,6	3,30	0,26
4.3	411,63	415,15	418,26	0,22			0,41			3,11		
5.1	418,16	420,12	421,83	0,12			0,23			1,71		
5.2	427,47	429,86	431,67	0,15	0,14	0,01	0,26	0,25	0,02	1,81	1,90	0,24
5.3	415,37	417,52	419,68	0,15			0,27			2,16		
6.1	404,02	406,49	408,42	0,15			0,27			1,93		
6.2	399,80	402,04	403,96	0,14	0,15	0,01	0,26	0,26	0,02	1,92	2,01	0,15
6.3	398,12	400,59	402,77	0,15			0,29			2,18		
7.1	425,02	428,42	429,53	0,21			0,28			1,11		
7.2	422,80	426,45	427,62	0,23	0,22	0,01	0,30	0,29	0,01	1,17	1,14	0,03
7.3	418,10	421,37	422,51	0,20			0,28			1,14		

Amostra*	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	A10 (g/cm ²)	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	A90 (g/cm ²)	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	C (g/dm ² .√min)	Média (g/dm ² .√min)	Desvio Padrão (g/dm ² .√mi n)
8.1	403,40	407,3	408,4	0,24	0,32	0,09	0,31	0,43	0,13	1,1	1,62	0,60
8.2	411,42	418,12	420,39	0,42			0,56			2,27		
8.3	420,68	425,66	427,14	0,31			0,40			1,48		
9.1	369,99	376,07	381,04	0,38	0,32	0,04	0,69	0,69	0,03	4,97	5,19	0,97
9.2	370,96	377,11	381,45	0,38			0,66			4,34		
9.3	367,94	373,06	379,31	0,32			0,71			6,25		

* Nota referente à nomenclatura adotada: a notação utilizada refere-se primeiro ao número do experimento e segundo ao corpo de prova e R corresponde às amostras de referência.

Fonte: Do autor, 2022.

APÊNDICE B – Resistência à compressão das argamassas.

Amostra	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
R.1	14,69		
R.2	15,75		
R.3	16,40	15,48	0,70
R.4	15,68		
R.5	15,81		
R.6	14,59		
1.1	2,16		
1.2	2,00		
1.3	1,91	2,32	0,33
1.4	2,56		
1.5	2,71		
1.6	2,55		
2.1	0,97		
2.2	1,20		
2.3	0,85	1,40	0,69
2.4	0,85		
2.5	2,37		
2.6	2,16		
3.1	2,28		
3.2	2,36		
3.3	2,52	2,37	0,24
3.4	2,64		
3.5	1,96		
3.6	2,44		
4.1	3,54		
4.2	3,17		
4.3	2,74	2,84	0,56
4.4	3,11		
4.5	1,98		
4.6	2,49		

Amostra	R _c (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
5.2	4,47		
5.3	5,54		
5.4	5,42	4,84	0,97
5.5	5,64		
5.6	4,85		
6.1	4,42		
6.2	4,38		
6.3	5,15	4,75	0,41
6.4	5,37		
6.5	4,54		
6.6	4,61		
7.1	3,21		
7.2	5,70		
7.3	5,95	5,21	1,01
7.4	5,63		
7.5	5,62		
7.6	5,17		
8.1	2,28		
8.2	3,05		
8.3	2,77	2,96	0,48
8.4	2,7		
8.5	3,34		
8.6	3,63		
9.1	1,36		
9.2	0,99		
9.3	0,98	0,98	0,20
9.4	0,87		
9.5	0,78		
9.6	0,87		

Fonte: Do autor, 2022

APÊNDICE C – Resistência à tração na flexão das argamassas.

Amostra	R _f (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
R.1	5,59	5,46	0,26
R.2	5,64		
R.3	5,16		
1.1	1,92	1,88	0,12
1.2	1,74		
1.3	1,97		
2.1	1,64	1,79	0,14
2.2	1,91		
2.3	1,82		
3.1	1,5	1,62	0,15
3.2	1,78		
3.3	1,57		
4.1	1,99	2,05	0,07
4.2	2,03		
4.3	2,12		
5.1	3,21	2,93	0,25
5.2	2,77		
5.3	2,8		
6.1	2,47	2,51	0,14
6.2	2,67		
6.3	2,4		
7.1	3,13	2,89	0,21
7.2	2,75		
7.3	2,78		
8.1	2,85	2,48	0,46
8.2	1,97		
8.3	2,62		
9.1	1,75	1,45	0,28
9.2	1,40		
9.3	1,20		

Fonte: Do autor, 2022.

APÊNDICE D – Densidade aparente das placas.

Amostra	m_u (g)	m_i (g)	m_f (g)	ρ (g/cm ³)	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)
R.1	640,47	363,26	578,76	2,10	2,01	0,07
R.2	699,90	374,40	631,04	1,94		
R.3	657,81	352,40	631,04	2,07		
R.4	637,13	344,05	576,39	1,97		
1.1	615,24	299,71	563,28	1,78	1,77	0,02
1.2	591,73	286,18	540,16	1,77		
1.3	626,20	303,12	572,73	1,77		
1.4	627,77	300,62	571,80	1,75		
2.1	542,31	242,05	491,24	1,64	1,65	0,02
2.2	526,49	239,57	477,09	1,66		
2.3	519,40	230,91	469,94	1,63		
2.4	635,94	287,09	578,40	1,66		
3.1	516,33	223,51	459,41	1,57	1,57	0,02
3.2	445,60	189,48	395,85	1,55		
3.3	431,18	186,88	383,64	1,57		
3.4	465,90	204,19	414,88	1,59		
4.1	582,86	263,78	522,99	1,64	1,63	0,01
4.2	449,66	202,49	402,13	1,63		
4.3	495,71	222,14	442,56	1,62		
4.4	505,06	227,01	452,81	1,63		
5.1	468,54	203,02	414,35	1,56	1,60	0,03
5.2	550,31	245,14	493,4	1,62		
5.3	522,27	231,02	466,44	1,60		
5.4	641,37	284,49	575,29	1,61		
6.1	474,40	203,52	412,21	1,52	1,46	0,06
6.2	499,54	211,92	432,73	1,50		
6.3	453,10	182,48	381,52	1,41		
6.4	460,51	187,35	388,7	1,42		
7.1	508,26	215,77	439,53	1,50	1,54	0,03
7.2	550,17	236,65	476,77	1,52		
7.3	577,48	246,96	515,18	1,56		
7.4	481,51	208,13	429,03	1,57		

Amostra	m_u (g)	m_i (g)	m_f (g)	ρ (g/cm ³)	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)
8.1	592,85	254,32	530,59	1,57		
8.2	534,96	224,71	476,01	1,54	1,53	0,03
8.3	451,92	192,80	390,41	1,51		
8.4	527,68	226,55	459,17	1,52		
9.1	590,08	244,86	524,28	1,52		
9.2	614,14	261,71	549,13	1,56	1,54	0,02
9.3	560,02	231,96	497,78	1,52		
9.4	556,15	236,49	496,04	1,55		

Fonte: Do autor, 2022.

APÊNDICE E – Absorção de água das placas.

Amostra	m_i (g)	m_f (g)	AA (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)
R.1	312,72	286,36	9,21		
R.2	338,75	309,99	9,28	9,26	0,05
R.3	345,93	316,46	9,31		
R.4	295,85	270,86	9,27		
1.1	280,72	255,01	10,08		
1.2	289,06	264,70	9,20	9,30	0,54
1.3	314,97	289,30	8,87		
1.4	267,25	245,10	9,04		
2.1	266,15	242,47	9,77		
2.2	259,43	235,45	10,18	9,90	0,19
2.3	307,62	280,21	9,78		
2.4	351,81	320,18	9,88		
3.1	226,06	204,14	10,77		
3.2	272,77	246,36	10,72	10,45	0,33
3.3	281,86	255,77	10,20		
3.4	309,81	281,3	10,14		
4.1	251,37	224,39	12,02		
4.2	269,55	240,31	12,17	11,41	0,80
4.3	310,2	280,27	10,68		
4.4	317,7	286,82	10,77		
5.1	290,44	261,33	11,14		
5.2	253,45	228,77	10,79	11,02	0,49
5.3	256,96	230,17	11,64		
5.4	240,29	217,44	10,51		
6.1	234,53	205,25	14,27		
6.2	268,01	231,03	16,01	14,31	1,43
6.3	242,19	215,26	12,51		
6.4	314,57	274,86	14,45		
7.1	184,99	162,28	13,99		
7.2	298,6	265,56	12,44	13,03	0,87
7.3	323,74	288,63	12,16		
7.4	258,99	228,17	13,51		

Amostra	m_i (g)	m_f (g)	AA (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)
8.1	289,69	258,03	12,27		
8.2	220,41	196,93	11,92	11,76	0,49
8.3	265,56	237,6	11,77		
8.4	375,23	337,75	11,10		
9.1	241,23	210,05	14,84		
9.2	245,37	215,07	14,09	15,25	0,99
9.3	234,78	202,87	15,73		
9.4	235,61	202,49	16,36		

Fonte: Do autor, 2022.

APÊNDICE F – Variação dimensional das placas.

Amostra	m_i (mm)	m_f (mm)	V_d (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)
R.1	197,66	197,62	0,02		
R.2	200,49	200,44	0,02	0,02	0,01
R.3	197,67	197,63	0,02		
R.4	199,04	199,01	0,02		
1.1	199,98	199,88	0,05		
1.2	198,94	198,82	0,06	0,08	0,03
1.3	200,24	200,01	0,11		
1.4	199,19	199,02	0,09		
2.1	199,05	199,01	0,02		
2.2	202,30	202,25	0,02	0,02	0,003
2.3	195,34	195,30	0,02		
2.4	194,05	194,02	0,02		
3.1	199,79	199,53	0,13		
3.2	200,43	200,37	0,03	0,09	0,06
3.3	197,06	196,76	0,15		
3.4	199,19	199,10	0,05		
4.1	196,60	196,15	0,23		
4.2	200,77	200,57	0,10	0,10	0,09
4.3	192,43	192,35	0,04		
4.4	198,23	198,16	0,04		
5.1	191,58	191,24	0,18		
5.2	186,49	186,38	0,06	0,23	0,18
5.3	197,78	197,38	0,20		
5.4	191,37	190,44	0,49		
6.1	200,66	200,64	0,01		
6.2	199,29	198,89	0,20	0,14	0,09
6.3	189,47	189,25	0,12		
6.4	187,98	187,55	0,23		

Amostra	m_i (mm)	m_f (mm)	V_d (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)
7.1	194,25	193,70	0,28	0,25	0,20
7.2	198,75	197,70	0,53		
7.3	199,20	199,06	0,07		
7.4	196,29	196,03	0,13		
8.1	199,31	198,74	0,29	0,18	0,11
8.2	197,12	196,69	0,22		
8.3	201,08	200,67	0,20		
8.4	199,34	199,29	0,03		
9.1	197,24	196,57	0,34	0,20	0,14
9.2	203,09	202,92	0,08		
9.3	200,62	200,46	0,08		
9.4	196,61	196,01	0,31		

Fonte: Do autor, 2022.

APÊNDICE G – Resistência à tração na flexão das placas.

Amostra	R _f (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
R.1	0,12		
R.2	0,16	0,15	0,03
R.3	0,17		
1.1	0,1		
1.2	0,11	0,11	0,01
1.3	0,12		
2.1	0,14		
2.2	0,15	0,14	0,02
2.3	0,12		
3.1	0,10		
3.2	0,11	0,14	0,06
3.3	0,20		
4.1	0,07		
4.2	0,06	0,07	0,01
4.3	0,07		
5.1	0,17		
5.2	0,20	0,17	0,03
5.3	0,15		
6.1	0,10		
6.2	0,08	0,08	0,02
6.3	0,07		
7.1	0,18		
7.2	0,15	0,15	0,03
7.3	0,13		
8.1	0,16		
8.2	0,19	0,20	0,05
8.3	0,26		
9.1	0,15		
9.2	0,11	0,13	0,02
9.3	0,13		

Fonte: Do autor, 2022.

APÊNDICE H – Durabilidade por ciclagem das placas.

Amostra	R _f sem ciclo (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	R _f com ciclo (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
3.1	1,5			2,2		
3.2	1,2			2,7		
3.3	1,7			2,3		
3.4	1,7			2,1		
3.5	1,9	2,03	0,61	2,7	2,51	0,35
3.6	2,4			2,3		
3.7	1,8			3,1		
3.8	2,8			3,0		
3.9	2,1			2,5		
3.10	3,2			2,2		
8.1	2,3			3,3		
8.2	2,0			5,0		
8.3	3,5			4,7		
8.4	5,2			5,1		
8.5	2,4	2,99	1,07	3,9	4,49	1,07
8.6	2,0			5,3		
8.7	2,4			3,0		
8.8	3,6			3,9		
8.9	4,1			6,6		
8.10	2,4			4,1		

Fonte: Do autor, 2022.