



**BRUNA DE CASTRO SIMÃO VIANA
DANIELLY STEFANI DE OLIVEIRA**

**APROVEITAMENTO DO RESÍDUO PAPELEIRO DA
INDÚSTRIA DE CIMENTO COMO REFORÇO EM
COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO**

**LAVRAS – MG
2023**

**BRUNA DE CASTRO SIMÃO VIANA
DANIELLY STEFANI DE OLIVEIRA**

**APROVEITAMENTO DO RESÍDUO PAPELEIRO DA INDÚSTRIA DE CIMENTO
COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Civil, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof.: Dr. José Benedito Guimarães Júnior
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

**BRUNA DE CASTRO SIMÃO VIANA
DANIELLY STEFANI DE OLIVEIRA**

**APROVEITAMENTO DO RESÍDUO PAPELEIRO DA INDÚSTRIA DE CIMENTO
COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Civil, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 08 de dezembro de 2023.
Prof.: Dr. José Benedito Guimarães Júnior, UFLA
Me. Carolina Aparecida dos Santos, UFLA
Me. Daniella Dutra Carneiro, UFLA



Documento assinado digitalmente
JOSE BENEDITO GUIMARAES JUNIOR
Data: 18/12/2023 13:41:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.: Dr. José Benedito Guimarães Júnior
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos em primeiro lugar a Deus, pela nossas vidas e por nos dar força e coragem para superar todos os desafios.

Aos nossos pais, Soraia e Rodrigo; Alessandra e Cleonido; e minha irmã Gabrielly, por sempre nos dar apoio e amor e serem nossos exemplos de vida.

Aos nossos avós Décio e Neri; Analia e em memória de Antônia e José Geraldo, por serem nossos exemplos de amor.

Aos nossos namorados, João Vitor e Alex, pela parceria, colaboração e paciência.

Às nossas amigas, Camila e Débora, pelo apoio e companheirismo durante a graduação.

Às nossas colegas de laboratório, Daniella, Ana Carolina e Carolina, por sempre estarem dispostas a nos ajudar com muito carinho e prestatividade.

Ao professor José Benedito Guimarães Júnior pela oportunidade de nos orientar estando sempre disposto a ensinar com muita paciência e dedicação.

Ao técnico Lorrان Arantes, por todo o auxílio no decorrer das atividades práticas desse trabalho.

À Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM) por todo seguimento do trabalho.

Ao núcleo de estudos Nematenc, por me despertar o interesse por materiais não convencionais.

RESUMO GERAL

A indústria da construção civil desempenha um importante papel no progresso econômico e social do país, porém também é notório que a mesma apresenta um impacto significativo e prejudicial ao meio ambiente, principalmente no que tange aos resíduos da construção civil, como as embalagens de cimento, que são descartadas de maneira incorreta e em grandes quantidades. Diante desse cenário, a utilização de materiais lignocelulósicos como reforço em materiais compósitos a base de gesso é uma alternativa vantajosa visto que promove a sustentabilidade através da reutilização de resíduos gerados pelo setor da construção civil. Sendo assim, o objetivo geral do presente trabalho foi analisar a viabilidade da utilização do resíduo papelheiro da indústria de cimento como reforço em compósitos de matriz de gesso através da avaliação de suas propriedades físicas e mecânicas como umidade na base seca, densidade, absorção de água, condutividade térmica, isolamento acústico e resistência à flexão e compressão. As proporções utilizadas para a incorporação dos reforços foram de 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10%, em substituição ao gesso. Seis corpos de prova foram utilizados para cada tipo de tratamento no ensaio de flexão, moldados em formas MDF de 40 x 40 x 160 mm. Para o ensaio mecânico de compressão, ensaios térmico e acústico e ensaios físicos de densidade, umidade e absorção, foram utilizadas três amostras de cada tratamento, com dimensões de 40x40x40 mm. A composição química do resíduo de embalagem foi analisada para determinar os teores de extrativos totais, cinzas, lignina e holocelulose. Diferentes quantidades de resíduos resultaram em uma redução na densidade aparente do compósito e um aumento na absorção de água. O teste de umidade não mostrou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. Em relação às propriedades mecânicas, a inclusão de resíduos reduziu as resistências à flexão e compressão, mas ambas ainda atenderam aos requisitos normativos. A condutividade térmica diminuiu ao longo dos tratamentos, indicando melhoria no compósito, assim como o teste de isolamento acústico, que mostrou reduções notáveis e variações entre os tratamentos a partir de 1000 Hz. Portanto, através dos resultados obtidos nesse estudo pode-se afirmar que resíduos lignocelulósicos são opções viáveis para criar materiais inovadores, especialmente para uso na construção civil, como revestimento, painéis acartonados, placas de forro, blocos de gesso, entre outros.

Palavras-chave: Materiais compósitos. Resíduos lignocelulósicos. Embalagens de cimento. Propriedades físicas. Mecânicas.

ABSTRACT

The construction industry plays a notable role in the country's economic and social progress, even though it is also well known that it has a significant and damaging impact on the environment, especially concerning construction waste, such as cement packaging, which is disposed of incorrectly and in large quantities. Given this scenario, the lignocellulosic materials usage as reinforcement in gypsum-based composite materials is an advantageous alternative since it promotes sustainability through reusing waste generated by the construction sector. Therefore, the general objective of this study was to analyze the feasibility of using paper waste from the cement industry as reinforcement in gypsum matrix composites by evaluating its physical and mechanical properties known to be dry humidity, density, water absorption, thermal conductivity, acoustic insulation, and flexural and compressive strength. The proportions used to incorporate the reinforcements were 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, and 10%, replacing the gypsum. Six specimens were used for each type of treatment in the bending test, molded in MDF molds measuring 40 x 40 x 160 mm. For the mechanical compression test, thermal and acoustic tests, and physical tests of density, humidity, and absorption, three samples of each treatment were used, measuring 40 x 40 x 40 mm. The chemical composition of the packaging waste was analyzed to determine the total extractives, ash, lignin, and holocellulose. The composites were evaluated in physical, mechanical, thermal, and acoustic tests. Different amounts of waste resulted in a reduction in the apparent density of the composite and an increase in water absorption. The moisture test showed no statistically significant difference between the treatments. Regarding the mechanical properties, the inclusion of waste reduced the flexural and compressive strengths, but both still met the regulatory requirements. Thermal conductivity decreased throughout the treatments, indicating an improvement in the composite, as did the sound insulation test, which showed notable reductions and variations between treatments from 1000 Hz onwards. Therefore, this study suggests that lignocellulosic waste is a viable option for creating innovative materials, especially for use in civil construction, such as cladding, corrugated panels, lining boards, and plaster blocks, among others.

Keywords: Composite materials. Lignocellulosic waste. Cement packaging. Physical. Mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pedras de Gipsita.....	13
Figura 2: Representação das características geométricas e espaciais das partículas da fase dispersa: (a) concentração, (b) tamanho, (c) forma, (d) distribuição, (e) orientação.....	17
Figura 3: Gesso Fino.....	27
Figura 4: Embalagem de cimento moída.....	27
Figura 5: Resultados da análise química do resíduo de embalagem.....	30
Figura 6: Resultados da densidade aparente do compósito.....	31
Figura 7: Resultado da umidade dos compósitos.....	32
Figura 8: Resultados da absorção de água dos compósitos.....	33
Figura 9: Resultados da resistência a flexão dos compósitos.....	34
Figura 10: Resultados da resistência à compressão dos compósitos.....	35
Figura 11: Resultados da condutividade térmica dos compósitos.....	36
Figura 12: Isolamento acústico dos compósitos.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diferentes composições de reíduos nos compósitos.....	28
-----------------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE INTRODUÇÃO GERAL	10
1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Resíduos da Construção Civil	11
2.2 Resíduo Papeleiro da Indústria Cimenteira	12
2.3 Gesso	12
2.3.1 Propriedades	14
2.3.2 Aplicabilidade na construção civil	15
2.4 Materiais Lignocelulósicos	15
2.5 Compósitos	16
2.5.1 - Materiais Compósitos Reforçados com Fibras	17
3 CONSIDERAÇÕES GERAIS	19
REFERÊNCIAS	20
SEGUNDA PARTE	24
APROVEITAMENTO DO RESÍDUO PAPELEIRO DA INDÚSTRIA DE CIMENTO COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO	24
1 INTRODUÇÃO	26
2 MATERIAL E MÉTODOS	27
2.1 Aquisição e preparação da matéria prima	27
2.2 Caracterização química do material de reforço	27
2.3 Produção dos compósitos	28
2.4 Avaliação das propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas	28
2.5 Análise dos resultados	29
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.1. Análise química do material de reforço	29
3.2. Ensaio físicos do compósito	31
3.2.1. Densidade aparente	31
3.2.2. Umidade	32
3.2.3. Absorção	33
3.3. Ensaio mecânicos do compósito	34
3.3.1. Resistência à flexão	34
3.3.2. Resistência à compressão	35
3.4. Condutividade térmica do compósito	36
3.5. Conforto acústico do compósito	37
4 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	40

PRIMEIRA PARTE INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos urbanos tornaram-se uma séria preocupação devido à intensa industrialização, à introdução de novas tecnologias, ao aumento da população e ao crescimento das áreas urbanas, juntamente com a diversificação no consumo de bens e serviços. Especialmente a partir da década de 1980, o gerenciamento desses resíduos tornou-se dispendioso e complexo, devido à expressiva acumulação em termos de volume e massa (ANGULO; ZORDAN; JOHN, 2001). Nos dias de hoje, tem-se estudado alternativas como a incorporação de subprodutos industriais, buscando-se obter materiais menos agressivos ao ambiente, mais econômicos, duráveis e resistentes. Dessa forma, é notável que a demanda por materiais inovadores e sustentáveis, incluindo os usados na construção civil, está em constante crescimento (VELOSO et al., 2021).

A indústria da construção civil desempenha um papel fundamental no progresso econômico e social do país. No entanto, é necessário ressaltar que esta atividade tem um impacto significativo e prejudicial ao meio ambiente em todas as fases do processo de construção (LARUCCIA, 2014). O concreto é amplamente reconhecido como o material mais produzido no mundo, com o cimento desempenhando o papel principal em sua composição (ANDRADE, 2017). Entretanto, surge um desafio relacionado ao resíduo da embalagem do cimento, o papel cartonado, que é utilizado para seu armazenamento. Quando em contato com o cimento Portland nas embalagens, esse papel se torna inadequado para processos secundários de uso e não pode ser adequadamente reciclado de acordo com os métodos convencionais, tendo como resultado, o seu descarte em locais como lixões, aterros sanitários ou nas áreas designadas para descarte de materiais de construção (SCHMAL; AVILA, 2008).

Nesse contexto, visando viabilizar a gestão apropriada dos resíduos e, assim, impulsionar o desenvolvimento sustentável na construção civil, os materiais compostos à base de gesso podem ser uma alternativa viável. Estes materiais propõem substituir parte da matriz de gesso por materiais lignocelulósicos, como as embalagens cartonadas. Os materiais lignocelulósicos se ressaltam por sua acessibilidade a baixo custo, baixa densidade, ausência de toxicidade, mínima abrasão aos equipamentos de processo e sua natureza renovável, biodegradável e não poluente (MACVICAR; MATUANA; BALATINECZ, 1999; SOYKEABKAEW et al., 2009). A incorporação dos materiais lignocelulósicos como reforço não apenas promove a sustentabilidade, mas também impulsiona o desenvolvimento de novos materiais com propriedades aprimoradas (VILLELA, 2017).

Portanto o objetivo geral do presente Trabalho de Conclusão de Curso foi analisar a viabilidade do uso do resíduo papaleiro da indústria de cimento como reforço em compósitos de matriz de gesso, ao avaliar suas propriedades físicas e mecânicas, sendo elas: umidade na base seca, densidade básica, absorção de água, condutividade térmica, isolamento acústico, resistência a flexão e compressão.

O presente trabalho será exibido no formato de artigo, sendo organizado em duas etapas. A primeira etapa, denominada por Introdução Geral, é constituída por uma descrição do assunto e dos objetivos, pelo referencial teórico e uma consideração final com uma síntese dos resultados obtidos na pesquisa.

A segunda etapa é integrada por um artigo redigido conforme a norma de publicação periódica científica, que evidencia a produção, o desenvolvimento e a caracterização dos compósitos a base de gesso reforçados com o resíduo papaleiro oriundo da indústria de cimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos da Construção Civil

A indústria da construção civil é responsável por grandes impactos ambientais representando 32% do consumo total de energia, 25% do uso global de água e 40% do uso global de recursos naturais além de contribuir com um terço do total da emissão de gases do efeito estufa (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2014). Além disso, o setor também gera uma quantidade significativa de resíduos de construção e demolição (RCD) como embalagens, madeira, tijolos, concreto, entre outros, os quais são descartados incorretamente em vias e logradouros públicos (ABRELPE, 2020).

A resolução nº 307 do CONAMA de 5 de julho de 2002 estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil, com o objetivo de reduzir seus impactos ambientais, considerando que os geradores dos mesmos, sendo eles pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, devem ser responsabilizados pela sua adequada administração objetivando a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada (CONAMA, 2002).

Segundo Kilbert (1994), os seguintes princípios devem ser seguidos a fim de reduzir os impactos gerados pela construção civil: minimizar o consumo de recursos, maximizar a reutilização de recursos, utilizar recursos renováveis e recicláveis, proteger o meio-ambiente, criar um ambiente saudável e não tóxico e buscar a qualidade na criação do ambiente construído.

2.2 Resíduo Papeleiro da Indústria Cimenteira

O material utilizado para envolver o cimento é chamado de papel kraft, que é produzido a partir da mistura de fibras obtidas da celulose, que possuem diferentes tamanhos e que são entrelaçadas e prensadas (ROBERT, 2007). O papel kraft é capaz de satisfazer as necessidades dos processos de ensacamento, possibilitando que os sacos sejam preenchidos com cimento em altas temperaturas, e ao mesmo tempo, possui a resistência mecânica necessária para o transporte e armazenamento adequado do produto ensacado (ALVES; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2023).

No Brasil, a produção de papel kraft ocorre por meio das fibras curtas do pinus ou através das fibras longas do bambu, sendo que normalmente essas fibras não passam por um processo de branqueamento, mantendo assim sua cor natural de tom pardo (FOELKEL, 2014). As propriedades do material dependem do tipo de fibra vegetal usada, e isso varia de acordo com a planta de origem (ROBERT, 2007).

No caso das fibras longas do bambu, elas se entrelaçam bem, resultando em excelentes propriedades físicas, o que é particularmente vantajoso para a fabricação de um papel resistente e com baixa probabilidade de rasgar. Além disso, o bambu é a escolha mais comum na indústria de embalagem de cimento devido aos baixos custos, rápido crescimento e baixo consumo de energia durante o processo de produção das fibras (MAGALHÃES, 2008).

De acordo com o relatório anual do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2023), apenas no mês de outubro de 2023 foram comercializadas 5,3 milhões de toneladas de cimento. O relatório do SNIC (2021) também indica que, do total de 64,86 mil toneladas de cimento despachadas no ano de 2021, 66% foram entregues de forma ensacada.

A baixa taxa de reciclagem dessas embalagens ocorre devido à contaminação provocada pelo contato com o cimento, o que torna impróprio para reutilização e inviabiliza os métodos convencionais de reciclagem. Devido à necessidade de procedimentos especiais e cuidados adicionais para reciclar as embalagens de cimento, elas frequentemente acabam sendo descartadas em locais como lixões, aterros sanitários ou áreas de despejo de materiais de construção (SCHMAL; AVILA, 2008).

2.3 Gesso

O gesso é um mineral originado a partir da calcinação da gipsita, composto principalmente de sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e é encontrado em grandes quantidades na natureza com formas de pedras de gipso ou gipsita, como mostra a Figura 1

(FERNANDES, 2017). O mineral é encontrado praticamente no mundo todo e sua forma de consumo é branca, mas antes das etapas de fabricação, podem-se encontrar impurezas que deixam o gesso amarelo, cinza ou marrom (OLIVEIRA, 2013).

Figura 1: Pedras de Gipsita



Fonte: SM GESSO (2013)

Os primeiros estudos científicos sobre a obtenção de gesso a partir da gipsita foram conduzidos por Lavoisier em 1768 (BALTAR, 2009). Além disso, os primeiros trabalhos sobre a hidratação do gesso foram realizados por Lavoisier em 1798 e posteriormente por Le Chatelier em 1887 (KARNI; KARNI, 1995). O gesso começou a ser usado na construção nos séculos III e IV a.C., graças às jazidas de gipsita na Síria e Fenícia, sendo empregado em argamassas de preenchimento para ornamentos e esculturas em baixo relevo (QUEDINA, 2018).

Na França, o gesso tornou-se um requisito obrigatório nas construções após um incêndio em 1666. Em 1667, o rei Luís XIV emitiu um decreto que exigia o uso de gesso, reconhecendo sua resistência ao fogo. Como resultado, as casas passaram a ser revestidas com gesso, o que impulsionou significativamente o mercado (INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA - IBDA, 2011).

Atualmente, o gesso é amplamente empregado na construção devido às suas diversas utilidades, sendo que cerca de 95% da produção total de gesso é consumida por esse setor (CAMÕES et al., 2012). No Brasil, a gipsita, o mineral base do gesso, é abundantemente encontrada em bacias sedimentares que cobrem aproximadamente 60% do território do país. Os principais depósitos de gipsita estão localizados nas regiões Norte e Nordeste, com destaque para o estado de Pernambuco, que é o principal produtor do Brasil e é conhecido como o "polo gesseiro do Araripe", sendo responsável por 91,5% da produção nacional (ARAÚJO; FARIAS, 2021).

2.3.1 Propriedades

Apesar de o gesso ter características vantajosas para a construção civil, como a ausência de retração durante a secagem, boas propriedades térmicas e acústicas, resistência ao fogo, endurecimento rápido e um acabamento superficial excelente, ele ainda possui várias limitações, incluindo alta permeabilidade à água, porosidade, baixa resistência à compressão, flexão e tração (VILLELA et al., 2020).

Contudo, entre as limitações desse material, as principais são o surgimento de fissuras, a diminuição da aderência entre o revestimento de gesso e a superfície de base, e a sua capacidade limitada de absorver impactos (DIAS; CINCOTO, 1995). Devido à solubilidade dos componentes do gesso (1,8 g/L), sua aplicação se restringe a espaços internos e a áreas onde não haja contato direto e constante com água, como ambientes úmidos (SILVA et al., 2016).

O gesso destinado à construção civil no Brasil deve cumprir com requisitos químicos, físicos e mecânicos específicos definidos na norma NBR 13207 (ABNT, 1994), que também descreve os procedimentos de teste para verificar o atendimento a esses requisitos:

- a) NBR 12130 – Gesso para construção: determinação da água livre de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico;
- b) NBR 12.129 – Gesso para construção: determinação das propriedades mecânicas;
- c) NBR 12.128 – Gesso para construção: determinação das propriedades físicas de pasta;
- d) NBR 12.127 – Gesso para construção: determinação das propriedades físicas do pó.

Existem outras normas menos abrangentes que se concentram especificamente na aplicação do gesso na construção civil. Essas normas também são regidas pela NBR e tratam dos aspectos físicos das peças utilizadas em placas, além de fornecerem orientações sobre como aplicá-las:

- a) NBR 14.717 – Chapas de gesso acartonado: determinação das características físicas;
- b) NBR 14.716 – Chapas de gesso acartonado: verificação das características geométricas;
- c) NBR 14.715 – Chapas de gesso acartonado: requisito;
- d) NBR 13.867 – Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso, materiais, preparo, aplicação e acabamento;

e) NBR 12.775 – Placas lisas de gesso para forros: determinação das dimensões e propriedades físicas.

2.3.2 Aplicabilidade na construção civil

O gesso na construção civil tem principalmente duas aplicações: como revestimento e fundição. O gesso de revestimento é aplicado na forma de pasta para cobrir as superfícies de paredes e tetos em ambientes internos e secos, normalmente substituindo o reboco ou a massa de acabamento. Por outro lado, o gesso de fundição é o material usado na produção de placas convencionais usadas para criar forros e rebaixar de tetos, blocos de gesso e chapas de gesso acartonado (ARAÚJO; FARIAS, 2021; JOHN; AGOPYAN; PRADO, 1997; MUNHOZ, 2008; VILLELA, 2017).

O gesso acartonado, também conhecido como "drywall construction" em inglês, é um material que se destacou na construção a seco. Sua principal finalidade é reduzir custos, minimizar resíduos e evitar desperdícios. Ele é utilizado para criar divisórias que podem substituir paredes de alvenaria, eliminando a necessidade de argamassa, seja para estruturas temporárias ou permanentes. No entanto, seu uso é restrito a ambientes internos, pois não possui resistência estrutural significativa (COSTA, 2015).

O uso de blocos de gesso também tem ganhado popularidade na construção de casas, que tradicionalmente são construídas com tijolos e cimento. Nessa técnica, blocos de gesso e massa de gesso são utilizados de maneira semelhante à alvenaria convencional, mas sem a necessidade de tijolos e cimento (STEUER et al., 2013).

2.4 Materiais Lignocelulósicos

Os materiais lignocelulósicos possuem três componentes principais, sendo eles a hemicelulose (20% a 40% em massa), celulose (40% a 60% em massa) e lignina (10% a 25% em massa) (SPINACÉ et al., 2011). As microfibrilas, células com alto teor de celulose, são envolvidas por uma matriz amorfa de hemicelulose e lignina, que tem como função proteger a celulose do ataque de microrganismos e enzimas, fazendo com que a estrutura do material seja rígida e pouco reativa (SANTOS et al., 2012).

Sendo assim, as fibras lignocelulósicas apresentam elevada resistência à tração, boa interação entre seus constituintes, proteção contra ataques externos, além de geometrias específicas que maximizam suas propriedades. Essas propriedades são responsáveis por conferir ao vegetal proteção física e química, além de permitir o desenvolvimento da planta

(JUNIOR, 2017).

Com isso, a fim de atender simultaneamente à tração, flexão e alongamento, a fibra vegetal apresenta três microestruturas, sendo elas a celulose, uma composição principal, rígida e linear, a hemicelulose, um anexo secundário, semirrígido e interligante e a lignina uma substância fixa e moldável, possuindo uma estrutura interligada entre si, formando uma grande rede molecular, responsável pelo preenchimento dos espaços vazios deixados pela celulose e holocelulose, formando a formação estrutural das fibras (JUNIOR, 2017).

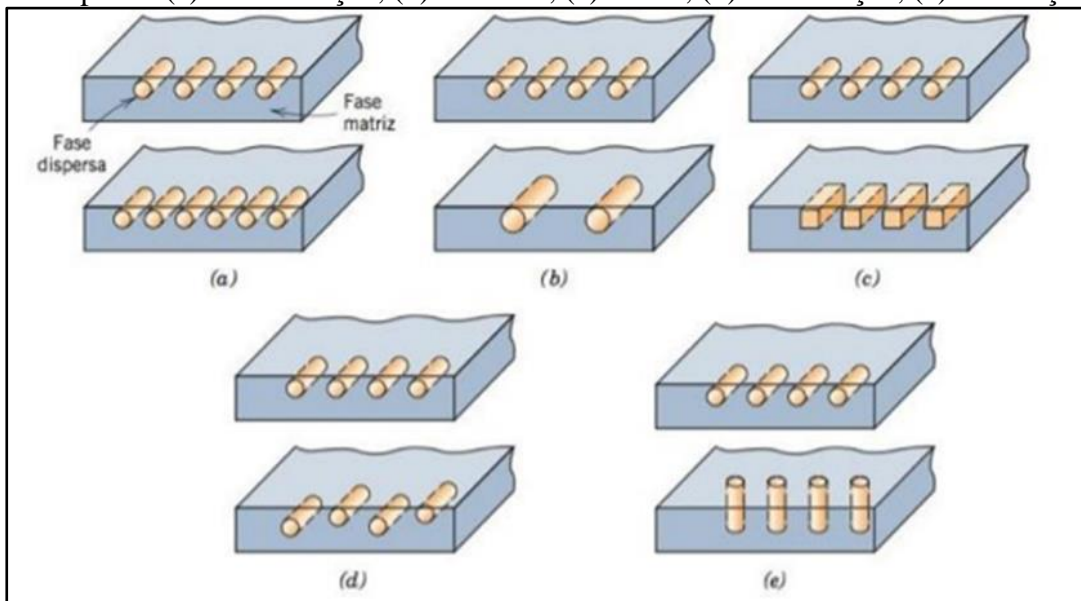
2.5 Compósitos

Os materiais compósitos são obtidos através da combinação de dois ou mais materiais sendo uma fase de matriz e uma fase dispersa. A matriz pode ser constituída de diversos materiais como cerâmicos, poliméricos ou metálicos, enquanto a fase dispersa é constituída de resíduos ou fibras, influenciando as características químicas, físicas e mecânicas do material (PEREIRA, 2002). Sendo assim, para que ocorra a influência da fase dispersa nas propriedades dos materiais é necessário que haja interação química e/ou física entre ambas as fases para que ocorra a transferência de esforços mecânicos da matriz para o reforço (BRASKEM, 2002).

Além disso, outra definição de materiais compósitos é de material multifásico formado por dois materiais combinados que se diferenciam em composição ou forma, os quais conservam suas identidades e propriedades e atribuem ao conjunto características superiores àquelas encontradas nos materiais isolados. Os compósitos podem ser encontrados nas formas fibrosas (fibra/matriz), laminares (camada de materiais), particuladas (partículas/matriz) ou híbridas (combinação das formas anteriores) (STUART, 1989).

Os compósitos foram criados a fim de aprimorar propriedades como rigidez, tenacidade e resistência à variadas condições ambientais e de altas temperaturas. Sendo assim, tais propriedades são influenciadas pelas propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa, sendo esse o tamanho, a distribuição e a orientação das partículas (JUNIOR; RETHWISCH, 2012).

Figura 2 : Representação das características geométricas e espaciais das partículas da fase dispersa: (a) concentração, (b) tamanho, (c) forma, (d) distribuição, (e) orientação.



Fonte: (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2012)

2.5.1 - Materiais Compósitos Reforçados com Fibras

A produção de materiais compósitos reforçados com fibras tem como principal objetivo a melhora da resistência e/ou rigidez em relação ao peso do material, as quais são expressas em função dos parâmetros de resistência específica e módulo de específico, sendo a razão entre a resistência à tração e/ou compressão e peso específico e razão entre módulo de elasticidade e peso específico, respectivamente. Sendo assim, é possível a produção de materiais com resistência e módulos específicos elevados, através da utilização de materiais que apresentam baixo peso específico, tanto para a fibra quanto para a matriz (JUNIOR; RETHWISCH, 2012).

Esses compósitos podem ser subclassificados em função do comprimento das fibras, podendo essas apresentarem-se de forma contínua e alinhada, descontínua e alinhada, descontínua e orientada aleatoriamente ou parcialmente orientada, em relação à sua orientação dentro do material. Além disso, o comportamento dos compósitos também é influenciado pela orientação e concentração das fibras, obtendo-se melhores propriedades quando há uma distribuição uniforme das fibras (JUNIOR; RETHWISCH, 2012)

A principal vantagem da utilização de fibras como reforço em matrizes frágeis, como a pasta de gesso, é o comportamento final do compósito após o início da fratura ao ser submetido a uma solicitação, devido à ductilidade pós-fratura que as mesmas oferecem ao material (AGOPYAN, 1989). Além disso, elas também são responsáveis pela maior leveza, baixo custo de produção e melhora das propriedades térmicas, acústicas e mecânicas dos compósitos

(MAGALHÃES, 2009).

Entretanto, a utilização das fibras como reforço também apresenta limitações, como alta absorção de umidade, interação insatisfatória com resinas de caráter hidrofóbico, sazonalidade, temperatura de degradação inferior à temperatura de processamento do compósito e a tendência a formar aglomerados na alimentação do processamento (FAHIM; ELHAGGAR, 2012; SANADI, 2004).

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Através dos resultados obtidos na presente pesquisa nota-se a viabilidade da utilização da embalagem de cimento como reforço em compósitos de gesso para a produção de materiais inovadores e sustentáveis, visto que o material final apresentou redução em sua densidade aparente, o que colabora para uma maior leveza e redução de esforços em lajes, vigas, pilares e fundações. Bem como, foi mostrada uma redução da condutividade térmica, o que confere vantagens para sua utilização na construção civil em placas de gesso para vedação ou forro, além de também de apresentar melhorias para o isolamento acústico. Além disso, mesmo com uma redução das resistências à flexão e à compressão com a adição do reforço, os valores encontrados para essas propriedades mecânicas ainda encontram-se em conformidade com as restrições normativas.

Ademais, a utilização do resíduo papreiro da indústria de cimento como reforço em compósitos de gesso torna-se uma alternativa viável, visto que é um material de fácil obtenção devido a grande utilização do cimento na indústria da construção civil, além de contribuir para a valorização e reaproveitamento dos resíduos gerados pelo setor.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Relatório de resíduos sólidos no Brasil 2018-2019**. 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>>. Acesso em: 20 out. 2023.
- AGOPYAN, V. **O gesso na construção civil**. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1989, Florianópolis. Anais. Florianópolis: Ed. UFSC, 1989. v. 1, p. 64-75.
- ALVES, L. de S.; PEREIRA, C. H. de A. F.; FIGUEIREDO, E. J. P. Estudo da adição de fibras kraft (embalagens de cimento recicladas) nas propriedades químicas e microestruturais de matrizes cimentícias. **Matéria**, v. 28, n. 2, 2023.
- ANDRADE, D. T. M. de. **Uso Do Papel Kraft Como Fibra Em Peças De Concreto Para Pavimentação**. 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)-Instituto Federal do Piauí, Teresina, 2017.
- ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil-materiais reciclados e suas aplicações. **CT206-IBRACON**. São Paulo–SP, 2001.
- ARAÚJO, L. F.; FARIAS, B, M. Empregabilidade do gesso na construção civil. **Epitaya E-books**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 89-108, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: gesso para construção civil: especificações. Rio de Janeiro, 1994.
- BALTAR, M. L. **Influência da Adição de Polissacarídeos nas Propriedades Físicas do Gesso Alfa**. 2009. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.
- BRASKEM, S. A. Boletim Técnico nº 8. **Glossário de termos aplicados a polímeros**. Revisão 2002. Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/site.aspx/Produto-Boletim-Tecnico>>. Acesso em: 24 de out. 2023.
- CAMÕES, A. et al. Caracterização de materiais compósitos à base de gesso FGD. **Mecânica Experimental**, v.20, p. 79-88, 2012.
- CONAMA. **Resíduos da Construção Civil** – Resolução N° 307 de 05/07/2002. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2002. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 24 de out. 2023.
- COSTA, A. T. Uso de gesso acartonado em vedações internas. **Ciências exatas e tecnológicas**, v.2, n.3, p. 99-106, Maceió, 2015.
- DIAS, A. M. N.; CINCOTO, M. A. **Revestimento à base de gesso de construção – Boletim Técnico**. São Paulo: EDUSP, 1995.
- FAHIM, I. S.; ELHAGGAR, S. M. Reinforcement of plastic waste with treated natural fibers. **Natural Resources**, v. 3, n. 1, p. 6-10, Hoboken, 2012.

FERNANDES, J. C. V. **Revestimentos de argamassa convencional e de gesso reciclado projetado: Um estudo comparativo**. 2017. 85 p. Dissertação (Graduação para Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, 2017.

FOELKEL, C. Reciclagem de Papéis Contendo Fibras Longas de Pinus. **Pinusletter**, Porto Alegre, v. 1, n. 41, p.1-26, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA - IBDA. **Fórum da construção**. 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 20: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. FIELD, C. B. et al. (eds.). Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2014. 1132 p.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V.; PRADO, T. A. **Durabilidade de compósitos de cimento e fibras vegetais**. In: Workshop: Durabilidade Das Construções, v. 1, p. 19-30. São Leopoldo/RS, 1997.

JUNIOR, C. C. M. F. **Fibras vegetais para compósitos poliméricos**. Editus - Editora da Uesc, 2017.

JUNIOR, W. D. C.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

KARNI, J; KARNI, E. Gypsum construction: origin and properties. **Materials and Structure**, Praha, n. 28, p 92-100 , 1995.

KILBERT, C. J. **Principles of Sustainable Construction**. Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction, 6-9 November, Tampa, FL, EUA (1994) 1-9.

LARUCCIA, M. M. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. **ENIAC Pesquisa**, Guarulhos, p. 69-84, v. 3, n. 1,2014.

MACVICAR, R.; MATUANA, L. M.; BALATINECZ, J. J. Aging mechanism in cellulose fiber reinforced cement composites. **Cement and Concrete Composites**, Elmsford, v. 21, p. 189-196, 1999.

MAGALHÃES, A. C. T. V. **Estudo de fibras vegetais, mucilagem de cacto e gesso em componentes construtivos**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

MAGALHÃES, A. P. **Caracterização da cadeia de produção do bambu no Brasil – Abordagem Preliminar**. 2008. 39 p. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MUNHOZ, F. C. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos no contexto de produção mais limpa**. 2008. 164 p. Dissertação (Mestrado para Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

OLIVEIRA, T. M. Reciclagem do Gesso: Potencial de Aplicação. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, v.8, n.1, 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Agenda 2030. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. PNUD. 2010.

PEREIRA, M. M. **Processamento de Cerâmicas**. Belo Horizonte: Dep. Eng. Metalúrgica e de Materiais. Editora UFMG, 2002.

QUEDINA. **Aplicabilidade do gesso na construção civil: Gesso em pasta, Blocos de gesso e Placas de Drywall**. 2018. 50p. Monografia (Graduação para Engenharia Civil) – Universidade Planalto do Distrito Federal, Brasília, 2018.

ROBERT, N. T. F. **Produção de embalagem de papel**. Dossiê Técnico, Serviço Brasileiro de respostas técnicas, Rio de Janeiro, 2007.

SANADI, A. **Fibras naturais como cargas/reforços em termoplásticos**. Shawbury: Rapra Technology, 2004.

SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana de açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SCHMAL, A. K.; AVILA, M. **Projeto Construa Limpo**. Artigo Técnico Científico, 2008.

SILVA, A. R. S. et al. **Determinação da resistência à compressão de blocos compósitos de gesso com adição de resíduos da construção civil**. In: Congresso Brasileiro De Engenharia e Ciência Dos Materiais. Natal/RN, 2016.

SM GESSO. **Gesso: a fórmula do sucesso**, 2013. Disponível em: <<https://www.smgesso.com.br/gesso-formula-sucesso/>>. Acesso em: 15 de out. 2023.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO - SNIC. **Relatório Anual**. 2021. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2021.pdf>. 20 de out. 2023.

SOYKEABKAEW, N. et al. All-cellulose nanocomposites by surface selective dissolution of bacterial cellulose. **Cellulose**, Bucharest, v. 16, n. 3, p. 435-444, 2009.

SPINACÉ, M. A. S. et al. Poliolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal x curauá. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 21, n. 3, p. 168- 174, 2011.

STEUER, I. R. W. et al. **Aplicabilidade do gesso na construção civil: um estudo de caso sobre drywall na perfil forros e divisórias**. 2013. XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX 2013 – UFRPE: Recife, 2013.

STUART, M. L. **Dictionary Of Composite Materials Technology**. 1989.

VELOSO, M. C. R. de A. et al. Produção e caracterização de compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduo da agroindústria do cacau. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 26, 2021.

VILLELA, L. S. **Compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduos**

lignocelulósicos e embalagens cartonadas. 2017. 90 p. Dissertação (Graduação para Engenharia Civil) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

VILLELA, L. S. et al. Desempenho físico-mecânico de compósitos à base de gesso reforçados com embalagens multicamadas trituradas. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 03, 2020.

SEGUNDA PARTE**APROVEITAMENTO DO RESÍDUO PAPELEIRO DA INDÚSTRIA DE CIMENTO
COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO**

Bruna de Castro Simão Viana; Danielly Stefani de Oliveira; José Benedito Guimarães Júnior;
Lourival Marin Mendes; Daniella Dutra Carneiro; Carolina Aparecida dos Santos; Ana
Carolina Corrêa Furtini.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo produzir e avaliar o efeito do aproveitamento do resíduo papaleiro da indústria de cimento como reforço em compósitos de matriz de gesso, com o intuito agregar valor ao resíduo e minimizar seu descarte inadequado, por meio do desenvolvimento de um material inovador. As proporções utilizadas para a incorporação dos reforços foram de 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10% em substituição ao gesso. Para o ensaio de flexão foram produzidos seis corpos de prova para cada tratamento, sendo amostras moldadas em fôrmas de MDF, com dimensões de 40 x 40 x 160 mm. Foi realizada análise da composição química do resíduo de embalagem para determinação dos teores de extrativos totais, cinzas, lignina e holocelulose. Os compósitos foram avaliados nos ensaios de absorção de água, umidade, densidade aparente, resistência à flexão e à compressão, condutividade térmica e conforto acústico. Os diferentes teores de resíduos proporcionaram ao compósito uma diminuição na sua densidade aparente e um aumento na sua absorção de água. Em contrapartida, o ensaio de umidade não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos. No que diz respeito às propriedades mecânicas, a inclusão de resíduos ocasionou uma diminuição nas resistências à flexão e compressão, porém ambas ainda atenderam aos requisitos normativos. A condutividade térmica diminuiu com o aumento da substituição de resíduo, indicando uma melhoria no compósito, assim como o ensaio de isolamento acústico, que apresentou reduções mais notáveis e variações entre os tratamentos a partir da frequência de 1000 Hz. Portanto, o presente trabalho comprova que os resíduos lignocelulósicos são alternativas convenientes para a criação de materiais inovadores, uma vez que o compósito se mostrou viável para ser utilizado no setor da construção civil como revestimento, painéis acartonados, placas de forro, blocos de gesso, entre outros, proporcionando maior conforto termo-acústico nas edificações, além de ser um material sustentável, reduzindo os impactos ambientais gerados pelos resíduos.

Palavras-chave: Materiais compósitos. Resíduos lignocelulósicos. Embalagens de cimento. Propriedades físicas. Mecânicas.

ABSTRACT

This study aims to produce and evaluate the effect of using paper waste from the cement industry as reinforcement in gypsum matrix composites, intending to add value to the waste and reduce its improper disposal by developing an innovative material. The proportions used to incorporate the reinforcements were 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, and 10% as a substitute for gypsum. For the bending test, six specimens were made for each type of treatment, with the samples molded in MDF molds, with dimensions of 40 x 40 x 160 mm. The chemical composition of the packaging waste was analyzed to determine the levels of total extractives, ash, lignin, and holocellulose. The composites were evaluated in water absorption, humidity, apparent density, flexural and compressive strengths, thermal conductivity and acoustic insulation tests. The different levels of waste resulted in a decrease in the composite's apparent density and an increase in its water absorption. Otherwise the humidity test showed no statistically significant difference between the treatments. Concerning mechanical properties, the inclusion of waste led to a decrease in flexural and compressive strengths, but both still met the regulatory requirements. Thermal conductivity decreased throughout the treatments, indicating an improvement in the composite, as did the acoustic insulation test, which showed more notable reductions and variations between treatments from the 1000 Hz frequency onwards. Therefore, this work promotes the idea that lignocellulosic waste is a convenient alternative for creating innovative materials since the composite proved to be viable for use in the construction sector as cladding, corrugated panels, lining boards, and plaster blocks, among others.

Keywords: Composite materials. Lignocellulosic waste Cement packaging; Physical and mechanical properties.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente há uma crescente busca pelo desenvolvimento de materiais inovadores e sustentáveis, incluindo aqueles utilizados na construção civil, contribuindo para o cumprimento dos objetivos da Agenda 2030 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, 2020), principalmente o nº 9, que trata da industrialização inclusiva e sustentável e nº12, que fornece padrões de produção e consumo sustentáveis. Sendo assim, têm sido estudados materiais incorporados com subprodutos industriais a fim de torná-los menos agressivos ao ambiente, mais econômicos, duráveis e resistentes, além de garantir uma correta destinação do resíduo (VELOSO et al., 2021).

Nas últimas décadas tem-se observado um crescimento populacional e expansão das cidades, o que foi responsável por um crescimento significativo do setor da construção civil, o qual foi responsável pela geração de cerca de 44,5 milhões de toneladas de resíduos de construção (ABRELPE, 2020). O cimento Portland é um dos principais insumos utilizados nesse setor, sendo comercializadas 5,3 milhões de toneladas apenas no mês de outubro de 2023. (SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO - SNIC, 2023).

O cimento é comercializado em embalagens produzidas com um papel altamente resistente, papel Kraft produzidos por celulose não branqueada, o qual se torna um resíduo sólido oriundo da construção civil que não é aproveitado em suas atividades, o que gera um impacto ambiental negativo (ALVES, 2016), visto que o mesmo quando em contato com o cimento Portland torna-se inadequado a processos de consumo secundários e a processos convencionais de reciclagem, e portanto são descartados em lixões, aterros sanitários ou botaforas de materiais de construção (SCHMAL; AVILA, 2008).

O gesso é um material amplamente empregado na construção civil por apresentar diversas vantagens como boa relação custo-benefício, baixo consumo de energia, boa resistência ao fogo, propriedades de isolamento térmico e acústico, além da possibilidade de reciclagem. Porém, por ser um material cerâmico, apresenta ruptura frágil, além de ter baixa resistência à água, fazendo com que sua utilização se restrinja a algumas condições, como locais sem contato com água (ZHU et al., 2018). Sendo assim, houve um significativo aumento nos estudos de materiais compósitos a fim de melhorar as propriedades do gesso (SKUJANS et al., 2007).

Nesse contexto, o material compósito é uma alternativa sustentável visto que possibilita a reutilização dos resíduos gerados pela construção civil, já que consiste na junção de dois ou mais constituintes para a produção de um único material constituído de duas fases, uma

chamada de matriz, a qual é contínua e envolve a outra fase, chamada de fase dispersa (JUNIOR; RETHWSICH, 2016). Com isso, compósitos de matriz de gesso e reforço lignocelulósico têm sido estudados apresentando bons resultados como o aumento da leveza do material e melhoria de propriedades do gesso como resistência mecânica, absorção de água e comportamento térmico e acústico (MORALES-CONDE; RODRÍGUEZ-LIÑÁN; PEDREÑO-ROJAS, 2016).

Sendo assim, o objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a viabilidade do uso do resíduo papaleiro da indústria de cimento como reforço em compósitos de matriz de gesso, por meio da análise das suas propriedades físicas e mecânicas.

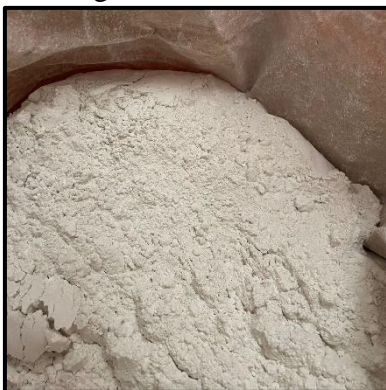
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Aquisição e preparação da matéria prima

A coleta da embalagem de cimento ocorreu no canteiro de obras do Centro de Inovações em Materiais Sustentáveis (CIMS), localizado no campus da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras - Minas Gerais. O material de reforço foi levado à Unidade Experimental em Painéis de Madeira (UEPAM), também localizada na Universidade Federal de Lavras, onde passou por um processo de trituração em um moinho de facas.

O gesso fino utilizado foi o gesso IPUBI (Figura 3), adquirido por meio de um fornecedor local em Lavras – Minas Gerais, não sendo necessário qualquer preparação preliminar do material.

Figura 3- Gesso fino



Fonte: Dos autores (2023)

Figura 4 - Embalagem de cimento moída



Fonte: Dos autores (2023)

2.2 Caracterização química do material de reforço

Os procedimentos seguidos para a análise química do material foram os estabelecidos

nas normas técnicas NBR 14853 (ABNT, 2010b) para os extrativos totais, NBR 7989 (ABNT, 2010a) para a lignina insolúvel e NBR 13999 (ABNT, 2003b) para o teor de cinzas. Já o teor de holocelulose foi avaliado por meio da metodologia de Browning (1963), na qual a determinação é feita pela diferença dos demais constituintes.

2.3 Produção dos compósitos

Os compósitos foram produzidos através da substituição gradual do gesso pelo resíduo papaleiro da indústria de cimento em massa/massa, sendo utilizada uma relação água/gesso de 0,6, segundo a norma EN 13279-2 (2006), a qual proporciona uma melhor trabalhabilidade da mistura com o acréscimo das fibras, fazendo com que a mesma se tornasse homogênea e não fluísse através dos moldes, além de não apresentar cura acelerada. Com isso, foram realizados cinco tratamentos, com seis corpos de prova cada, obtendo-se um total de trinta corpos de prova. Na Tabela 1 observa-se as diferentes composições de resíduos nos compósitos de matriz de gesso.

Tabela 1 – Diferentes composições de resíduos nos compósitos.

Tratamento	Gesso (%)	Resíduo Papaleiro (%)
1	100,0	0,0
2	97,5	2,5
3	95,0	5,0
4	92,5	7,5
5	90,0	10,0

Fonte: Dos autores (2023)

Os corpos de provas foram produzidos utilizando-se formas de MDF com fundo em madeira, apresentando dimensões de 40x40x160mm segundo especificações da EN 13279-2 (2006). Os compósitos foram retirados dos moldes após 24 horas e armazenados em local ventilado e livre das ações de intempéries.

2.4 Avaliação das propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas

Para os ensaios mecânicos de flexão foram utilizados seis corpos de prova de cada tratamento com dimensões 40x40x160mm. Já para o ensaio de compressão, ensaios físicos, térmico e acústico foram usados três corpos de prova nas dimensões 40x40x40mm.

As propriedades físicas dos compósitos foram avaliadas através da determinação da umidade na base seca segundo a NBR 7190 (1997) com aferição da massa inicial e final. A densidade aparente foi avaliada segundo a NBR 45 (2006), com aferição da massa e volume e

ensaio de absorção foi realizado por capilaridade com 2 horas de contato segundo a EN 1015-18 (2002).

Além disso, para a avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos foram realizados os ensaios de flexão e compressão com a utilização da máquina universal de ensaios segundo a EN 13279-2 (2006). Através do ensaio de flexão foi determinada a resistência de ruptura à flexão (MOR) e do ensaio de compressão foi determinada a resistência à compressão (Rc) de cada compósito.

Para a determinação da condutividade térmica foi realizado o ensaio segundo a metodologia de TOUTONGE (2006), utilizando-se de duas câmaras térmicas, equipadas de divisórias separadas pelo corpo de prova.

Por fim, para a determinação do isolamento acústico dos compósitos o ensaio também foi realizado conforme a metodologia de TOUTONGE (2006), pela qual os corpos de prova com dimensões de 40x40x160mm foram posicionados na separação entre duas câmaras de emissão equipadas de fonte sonora e de recepção. As medições das intensidades sonoras foram realizadas com a utilização de um microfone para captação de ruído nas frequências de 125, 200, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz.

2.5 Análise dos resultados

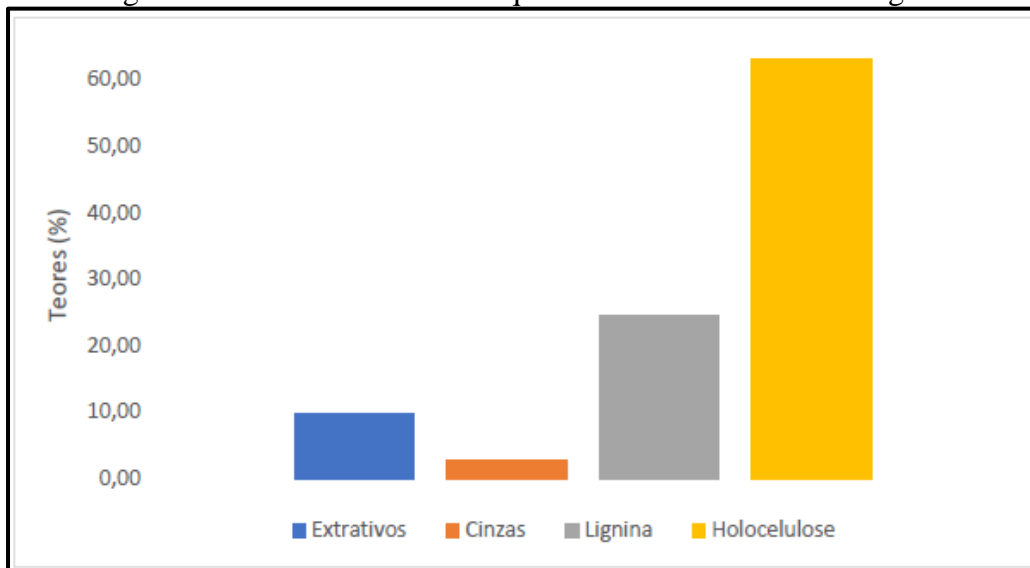
Para a análise dos resultados obtidos através dos ensaios foi utilizados o delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo realizadas três repetições para a umidade na base seca, três para o ensaio de absorção de água, três para o ensaio térmico, seis para o ensaio de flexão e seis para o de compressão, sendo esses resultados submetidos à análise de variância e regressão a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise química do material de reforço

Os resultados encontrados para a análise química do resíduo celulósico da embalagem estão apresentados no gráficos da Figura 5.

Figura 5: Resultados da análise química do resíduo de embalagem.



Fonte: Dos autores (2023).

O resíduo papelheiro da embalagem de cimento apresentou um alto teor de extrativos, sendo o mesmo de 9,77%, o que também pode ser observado em outros resíduos lignocelulósicos como resíduo da colheita do milho (17,50%) e do processamento de café (8,60%) estudados por Protásio et al. (2012) e resíduo de cacau (34,82%) estudado por Veloso et al. (2021). Um alto teor de extrativos torna-se um desafio para a ligação entre a matriz e o reforço, pois os mesmos atuam no bloqueio dos espaços vazios do material lignocelulósico, impedindo seu contato com a matriz, o que pode ocorrer com a adição da embalagem na matriz de gesso, devido ao seu elevado teor de extrativos (OLIVEIRA et al., 2020).

O teor de cinzas encontrado para o material em questão (2,72%) superior ao de outros resíduos lignocelulósicos como bagaço de cana de açúcar (1%) estudado por Protásio et al. (2013) e partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* (0,18%) estudadas por Mesquita Júnior et al. (2018). Um alto teor de cinzas também pode ser um desafio para a utilização do material lignocelulósico visto que pode ser responsável pelo desgaste de aparelhos cortantes, como moinhos e serras (BRITO; BARRICHELO, 1979), além de retardar o endurecimento dos compósitos devido ao abrandamento da cinética de hidratação do gesso, gerando uma incompatibilidade entre a matriz e o reforço e, conseqüentemente, diminuindo sua resistência mecânica.

Já em relação à lignina, o teor encontrado para a embalagem (24,48%) foi inferior ao encontrado para outros resíduos lignocelulósicos como resíduo do cacau (35,15%), estudado por Veloso et al. (2021) e partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* (28,02%) estudada por Mesquita Júnior et al. (2018). Um alto teor de lignina é responsável por uma maior rigidez, maior resistência à compressão e menor absorção de água visto que a mesma confere

impermeabilidade, rigidez e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais (BHATIA; JHORI; AHMAD, 2012). Porém, uma grande quantidade de lignina também pode retardar o endurecimento dos compósitos devido ao abrandamento da cinética de hidratação do gesso, o que gera incompatibilidade entre a matriz e o reforço, influenciando nas propriedades mecânicas do material (BHATIA; JHORI; AHMAD, 2012).

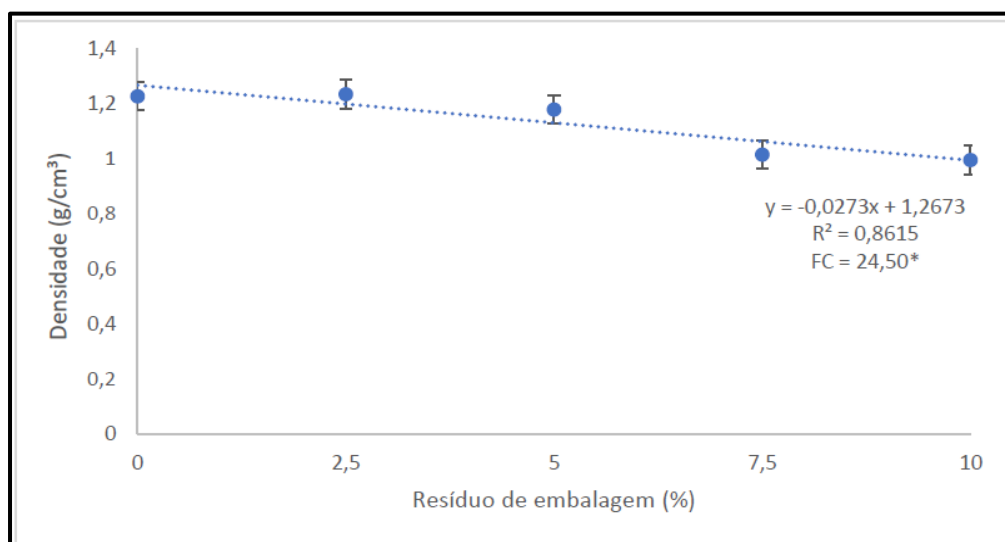
Por fim, o teor de holocelulose encontrado para o resíduo lignocelulósico da embalagem (63,03%) foi próximo ao encontrado para outros resíduos lignocelulósicos como fibras de eucalipto (69,59%) estudadas por Oliveira et al. (2020) e partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* (65,68%) estudadas por Mesquita Júnior et al. (2018). Um alto teor de holocelulose confere ao material maior valor de umidade e absorção de água, visto que a mesma é um constituinte higroscópico (GUIMARÃES JÚNIOR et al., 2021).

3.2. Ensaio físicos do compósito

3.2.1. Densidade aparente

Os resultados obtidos para a densidade aparente dos compósitos são apresentados na Figura 6. Com o ajuste da regressão linear dessa propriedade (FC = 24,50), é possível observar que houve uma diminuição desta com a substituição do resíduo, sendo que 1% de adição deste ocasionou uma diminuição de 0,02% na densidade aparente, variando de 1,2276 a 0,9963 g/cm³, à medida que acresce resíduo de embalagem nos compósitos.

Figura 6: Resultados da densidade aparente do compósito.



Fonte: Dos autores (2023).

Essa tendência também pode ser observada em outros estudos, como o realizado por Vilela et al. (2020), no qual o aumento da porcentagem do reforço de material lignocelulósico

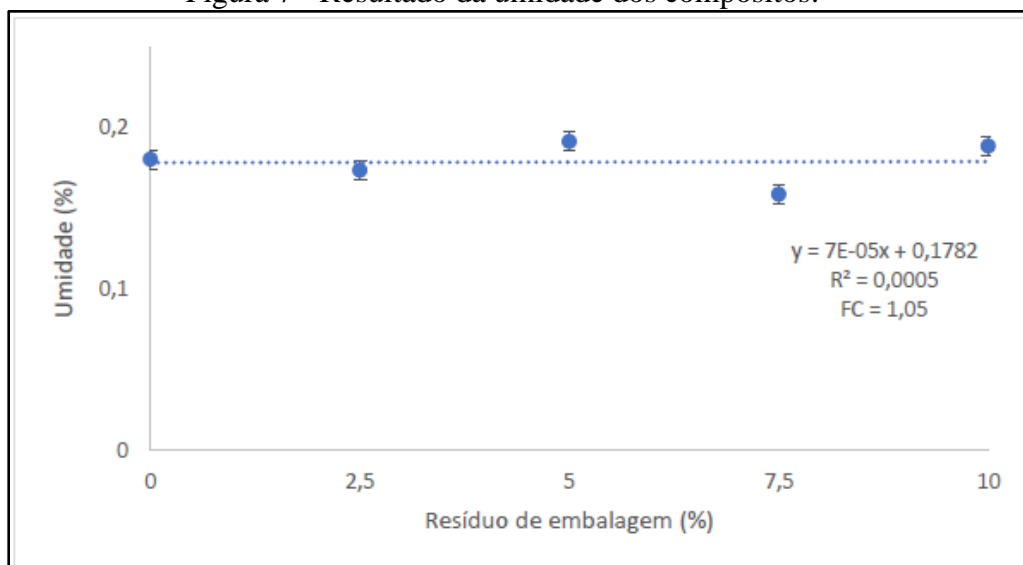
ocasiona redução da densidade aparente da matriz de gesso, uma vez que a massa específica do gesso é maior em relação à massa específica do reforço, além da presença do material lignocelulósico aumentar a relação água/gesso, responsável por produzir uma matriz mais porosa e menos densa. Sendo assim, a redução da densidade aparente pode deixar o material mais leve, garantindo vantagens ao material em sua utilização na construção civil, como a redução de esforços em elementos estruturais como lajes, vigas e pilares.

Além disso, os valores de densidade aparente encontrados para os compósitos de gesso reforçados com embalagem de cimento encontram-se próximos aos compósitos reforçados com outros materiais como borracha, estudada por Rivero, Báez e Navarro (2014), para a qual foram encontrados valores entre 0,88 e 1 g/cm³ e resíduos de madeira de demolição, estudados por Morales-Conde, Rodríguez-Liñán e Pedreño-Rojas (2016), para os quais foram encontrados valores entre 0,602 e 1,3 g/cm³.

3.2.2. Umidade

Os resultados obtidos para a umidade a base seca dos compósitos são mostrados na Figura 7. O ajuste da regressão linear da propriedade (FC = 1,05), mostrou que não houve uma diferença significativa entre os tratamentos, sendo a umidade média para todos os compósitos de 0,179%.

Figura 7 - Resultado da umidade dos compósitos.



Fonte: dos autores (2023)

O valor médio de umidade encontrado para os compósitos reforçados com embalagens de cimento foi inferior a valores encontrados para o tratamento de referência de compósitos de gesso reforçados com variados tipos de reforços como embalagens multicamadas trituradas

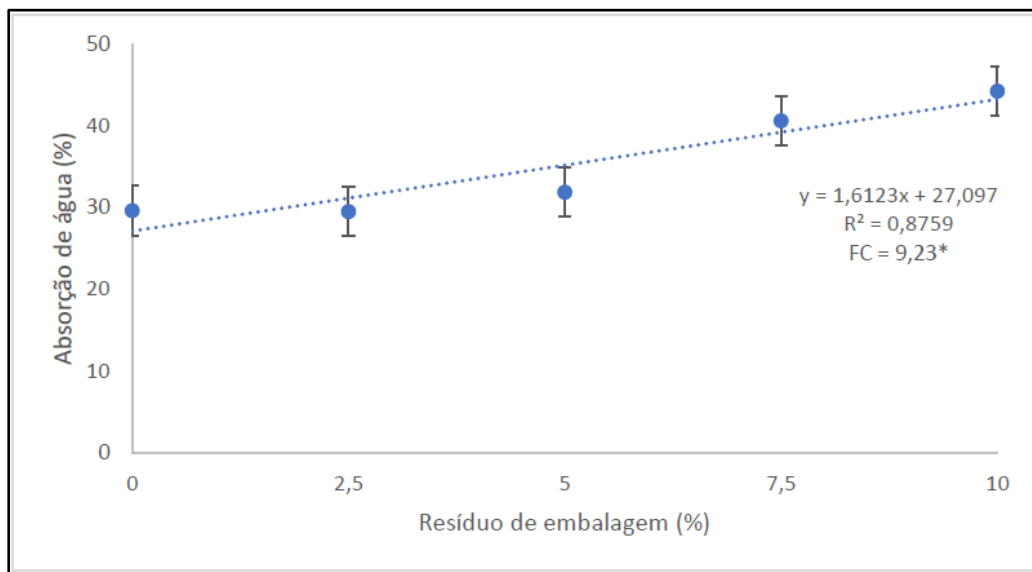
(0,34%) estudadas por Vilela et al. (2020), fibras de madeira de eucalipto (0,23%), estudadas por Oliveira et al. (2020) e fibras vegetais de coco, juta, lã, algodão e banana (0,48%) estudadas por Chinta, Katkar e Jafer (2013).

Sendo assim, a umidade dos compósitos manter-se constante e inferior a encontrada para o tratamento de referência ao utilizar diversos tipos de reforços é bom, visto que a adição do resíduo na matriz de gesso não alterou essa propriedade.

3.2.3. Absorção

Na Figura 8 é possível observar a relação entre a absorção de água do compósito e os tratamentos analisados. Para essa propriedade a regressão linear foi ajustada ($FC = 9,23$), sendo que houve um aumento desta com a substituição de resíduo, sendo que 1% de adição deste ocasionou um aumento de 1,61% na absorção, variando de 29,63% a 44,21%, à medida que acresce o resíduo de embalagem nos compósitos.

Figura 8: Resultados da absorção de água dos compósitos.



Fonte: Dos autores (2023).

Conforme evidenciado em alguns estudos, como o realizado por Carneiro e Fernandes (2022) sobre compósitos feitos de gesso reforçado com fibras da bainha da palmeira, observa-se que, à medida que a proporção de materiais lignocelulósicos nos compósitos é incrementada, há uma tendência de aumento na absorção de água devido às propriedades hidrofílicas desses materiais.

Na avaliação da absorção de água no estudo conduzido por Haselein et al. (2002) acerca da fabricação de placas aglomeradas, onde empregaram gesso como aglomerante, papel

reciclado desfibrilizado (jornal e offset) e partículas de madeira de pinus como reforços, constatou-se que, para a amostra de referência, a média foi de 28,73%. Esse valor é aproximadamente equivalente ao encontrado neste estudo para os compósitos que não foram reforçados, registrando 29,63%.

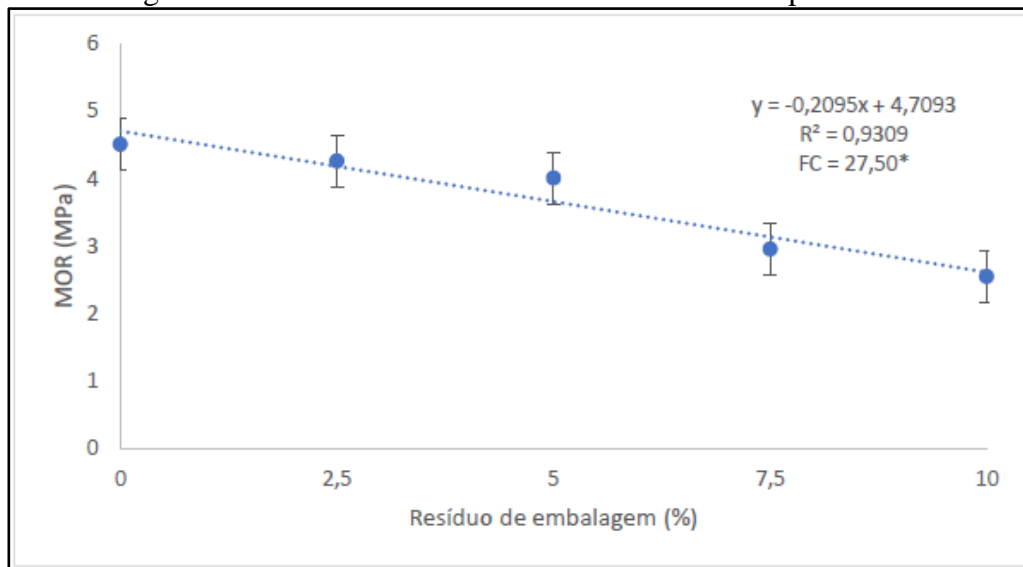
Os resultados obtidos neste estudo podem ser explicados pela análise química do resíduo de embalagem, que revelou um elevado teor de holocelulose, atingindo 63,03%. Isso mostra que a natureza hidrofílica da holocelulose pode ser responsável pela maior absorção de água nos compósitos.

3.3. Ensaio mecânico do compósito

3.3.1. Resistência à flexão

Observando a Figura 9, é possível analisar os resultados do ensaio de resistência à flexão dos compósitos. O ajuste da regressão linear dessa propriedade ($FC = 27,50$), mostra que houve uma diminuição desta com a substituição do resíduo, sendo que 1% de adição deste ocasionou uma diminuição de 0,20% na resistência à flexão, variando de 4,52 a 2,55 MPa, à medida que cresce resíduo de embalagem nos compósitos.

Figura 9: Resultados da resistência a flexão dos compósitos.



Fonte: Dos autores (2023).

No estudo realizado por Iucolano et al. (2015) acerca dos compósitos de gesso com fibras de abacá, constataram-se valores reduzidos de resistência à flexão para o compósito, atribuídos a uma adesão insuficiente entre as fibras brutas e o gesso. Entretanto, ao realizarem um tratamento prévio das fibras, maiores valores foram encontrados, pois houve aumento do

intertravamento fibra-matriz.

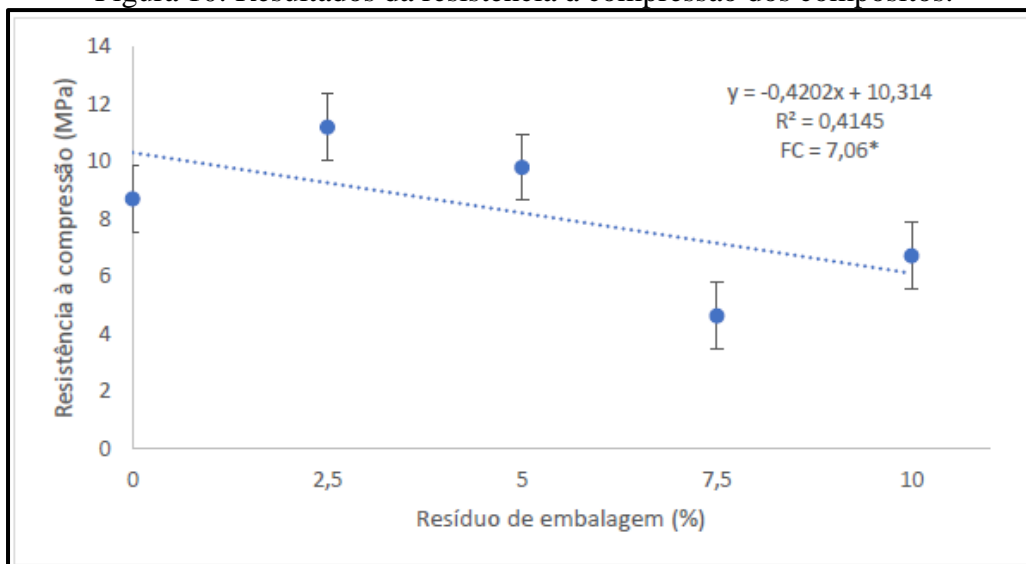
Nos ensaios de flexão em compósitos, a interação entre a matriz e o reforço desempenha um papel fundamental, pois busca-se assegurar uma distribuição uniforme de cargas entre os elementos constituintes (VELOSO, 2021). No presente estudo, os teores significativos de extrativos e lignina, encontrados na análise química, podem ser apontados como responsáveis pela interação deficiente entre as fibras e o gesso e pelo aumento da porosidade dos compósitos (HINCAPIE; CINCOTTO, 1997; CASAGRANDE et al., 2020).

Contudo, ao examinar a redução da resistência à flexão na Figura 9, observa-se que todos os teores de inclusão do resíduo atendem ao requisito estabelecido pela norma EN 13279-2 (EUROPEAN STANDARDS, 2006), que estipula 1,0 MPa como o mínimo exigido para a resistência à flexão.

3.3.2. Resistência à compressão

Os resultados do ensaio de resistência à compressão são mostrados na Figura 10. O ajuste da regressão linear dessa propriedade (FC = 7,06), mostra uma diminuição desta com a substituição do resíduo, sendo que 1% de adição deste ocasionou uma diminuição de 0,42% na resistência à compressão, variando de 11,20 a 4,64 MPa, à medida que acresce resíduo de embalagem nos compósitos.

Figura 10: Resultados da resistência à compressão dos compósitos.



Fonte: Dos autores (2023).

Resultados semelhantes são identificados na literatura, sendo atribuídos a fatores como a porosidade tanto do material quanto do compósito, microfissuras presentes no compósito, o formato e tamanho das partículas, que podem causar heterogeneidade e segregação em

diferentes regiões do compósito, e a interface inadequada entre o resíduo e o gesso (SHIROMA; CAMARINI; BERBALDO, 2016; DAI; FAN, 2015; KHALIL et al., 2014; MARWARDT; WILSON, 1935).

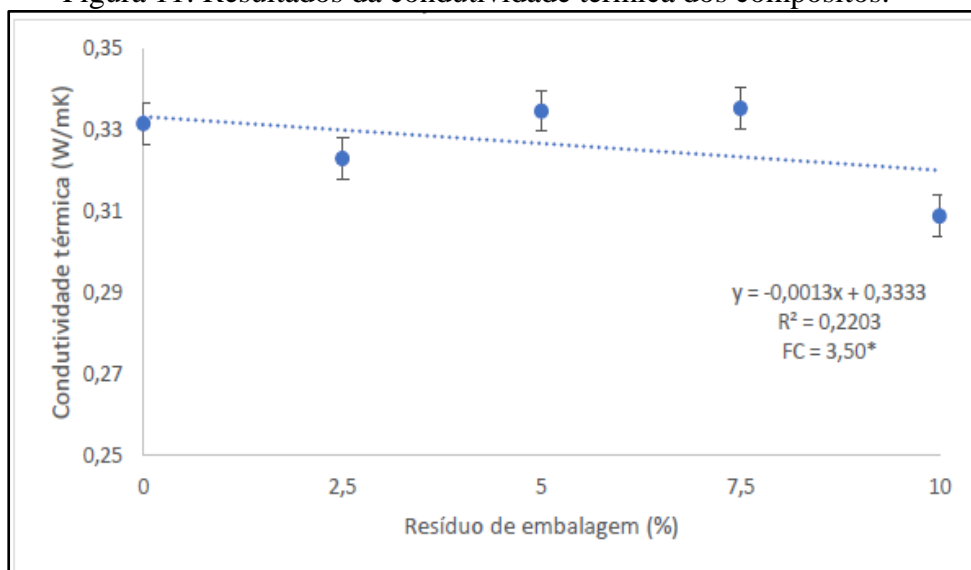
Um exemplo é o estudo conduzido por Morales-Conde, Rodríguez-Liñán e Pedreño-Rojas (2016), que introduziram resíduos de madeira de demolição em compósitos à base de gesso. Eles observaram que os valores médios de resistência mecânica à compressão dos compósitos diminuía à medida que aumentava a proporção de resíduos de madeira adicionados. Os resultados revelaram que a resistência à compressão variava de 2,13 a 8,81 MPa, e ao adicionar 40% de resíduos de madeira, houve uma redução de 78% na resistência à compressão.

Vale ressaltar que, apesar da diminuição progressiva na resistência à compressão com o aumento de todos os teores de incorporação de partículas, todos ainda estavam em conformidade com a norma EN 13279-1 (EN, 2006a), que estabelece 2,0 MPa como o requisito mínimo para a resistência à compressão.

3.4. Condutividade térmica do compósito

Na Figura 11 é possível analisar a relação entre a condutividade térmica do compósito e os tratamentos analisados. Para essa propriedade a regressão linear foi ajustada (FC = 3,50), sendo que houve uma diminuição desta com a substituição de resíduo, sendo que 1% de adição deste ocasionou uma diminuição de 0,0013% na condutividade térmica, variando de 0,33% a 0,30%, à medida que cresce o resíduo de embalagem nos compósitos.

Figura 11: Resultados da condutividade térmica dos compósitos.



Fonte: Dos autores (2023).

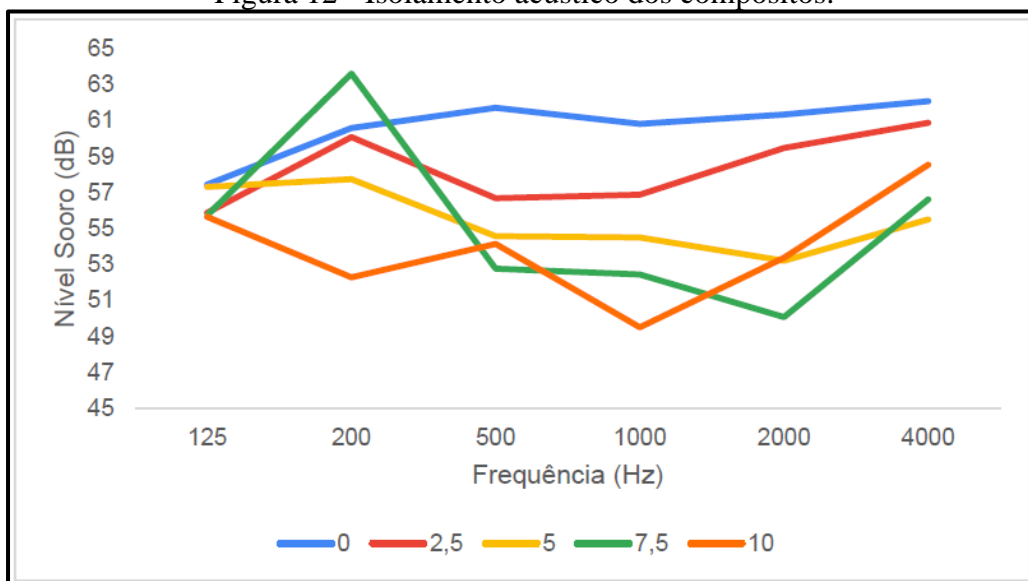
O aumento na porcentagem dos reforços resulta na redução da condutividade do compósito, resultando em um material com maior capacidade de isolamento térmico. A possível explicação para essa tendência é que a diminuição da condutividade térmica do compósito está associada a uma diminuição na densidade da mistura. Esse fenômeno ocorre devido à presença de espaços vazios aumentados, os quais são preenchidos por ar, um componente com baixa condutividade térmica, sendo em torno de $0,02 \text{ W/mK}$ (VIVALDINI et al., 2014; OZISIK, 1990).

Os valores de condutividade térmica para os compósitos foram maiores em comparação aos resultados encontrados para os compósitos reforçados com outros tipos de materiais como pó de EVA ($0,215 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$) e resíduo de couro ($0,250 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$) estudados por Medeiros et al. (2017) e menores em comparação a compósitos reforçados com fibra de bananeira ($0,445 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$) estudados por Noronha (2014).

3.5. Conforto acústico do compósito

Através da análise dos resultados apresentados na Figura 12, nota-se que houve uma redução de ruído em todas as frequências com a adição do resíduo lignocelulósico, exceto para a frequência de 200 Hz. Além disso, observa-se que as maiores reduções e diferenças entre tratamentos ocorreram a partir da frequência de 1000 Hz. Sendo assim, é possível concluir que independente da porcentagem de adição de embalagem, houve melhoria na capacidade de absorção sonora para as frequências analisadas.

Figura 12 - Isolamento acústico dos compósitos.



Fonte: Dos Autores (2023).

O isolamento acústico de um material, ou seja, sua capacidade de permitir ou não absorção sonora, está relacionada com sua porosidade. Sendo assim, segundo a literatura, a melhoria na absorção sonora dos compósitos reforçados com resíduos lignocelulósicos pode ser explicada pelo aumento do número de poros devido a interação do reforço com a matriz, responsável pela geração de vazios nas interfaces e/ou cavidades interconectadas (MORETTI; BELONNI; AGOSTI, 2016; LAHOUIOUI et al., 2019).

4 CONCLUSÃO

A incorporação do resíduo de embalagem como reforço na matriz de gesso resultou na redução da densidade aparente do compósito, proporcionando um produto final mais leve. Essa característica é atrativa em diversas aplicações na construção civil, uma vez que possibilita a redução dos esforços exigidos em vigas, pilares e fundações.

O ensaio de umidade não revelou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. No entanto, no ensaio de absorção de água, observou-se um aumento nas porcentagens com a adição do reforço à matriz de gesso. Esse aumento na absorção de água é desfavorável, dado que o gesso puro exibe um alto caráter hidrofílico, restringindo seu uso a ambientes secos. Nesse contexto, o aumento na absorção de água impõe restrições ainda maiores à sua aplicação.

Tanto na flexão quanto na compressão, observou-se uma redução nas resistências, sendo que os principais fatores que influenciaram essa diminuição foram a formação de poros no compósito e a interação limitada entre a matriz e o reforço devido às características químicas dos constituintes do material. Nesse sentido, todos os teores de inclusão do resíduo demonstraram potencialidade, visto que atenderam os requisitos mínimos da normatização para as propriedades mecânicas.

Houve um aumento na capacidade de isolamento térmico, resultante da redução da condutividade térmica dos compósitos e uma melhoria na capacidade de absorção sonora nos compósitos. Essas características tornam sua aplicação como placas de gesso em vedação ou forro altamente benéfica, proporcionando um considerável aumento no conforto termoacústico das edificações.

Portanto, conclui-se, a viabilidade do aproveitamento do resíduo papelheiro da indústria de cimento como reforço em compósitos de matriz de gesso, visto que os resultados se mostraram satisfatórios tendo como possibilidade a valorização de um subproduto lignocelulósico e a produção de materiais inovadores. Como direcionamento para futuras

pesquisas, é possível aprimorar os parâmetros de produção dos compósitos, buscando viabilizar a inclusão do resíduo sem comprometer as propriedades do material e, ainda, permitir uma inserção mais substancial. Além disso, para uma compreensão mais abrangente da interação entre o resíduo e a matriz de gesso, análises mais detalhadas das propriedades físicas e químicas do resíduo são necessárias.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Relatório de resíduos sólidos no Brasil 2018-2019**. 2020.
- ADAMY, A. P. A.; ROSA, F.S.; ROSA, L.C. Desempenho térmico de compósitos à base de talos de girassol em componentes de edificações. **Espacios**, v. 37, n. 15, 2016.
- ALVES, L. D. S. **Influência da adição de fibras de celulose (papel Kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural**. Brasília. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) -Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003b. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**: madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010b. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010a.6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: agregados - determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- BHATIA, L.; JOHRI, S.; AHMAD, R. An economic and ecological perspective of ethanol production from renewable agro waste: a review. **AMB Express**, v. 2, n. 1, p. 65, 2012.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Usos diretos e propriedades da madeira para produção de energia**. Piracicaba: IPEF,1979. (Circular técnica IPEF).
- BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: J. Wiley. 689 p. 1963.
- CARNEIRO, D. D.; FERNANDES, M. A. **Potencial de aplicação da bainha fibrosa de *livistona chinensis* como reforço em compósitos de matriz de gesso**. 2022. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.
- CASAGRANDE, C. A. et al. Effect of partial substitution of superplasticizer by silanes in Portland cement pastes. **Journal of Building Engineering**, v.29, p. 101-226, 2020.
- CHINTA, S. K.; KATKAR, P. M.; JAFER, M. M. Natural fibres reinforced gypsum composites. **International Journal of Management Science and Engineering**, v. 4, n. 3, p. 318-325, 2013.
- DAI, D.; FAN, M. Preparation of bio-composite from wood sawdust and gypsum. **Industrial Crops and Products**. v. 74, p. 417-424, 2015.
- EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION, CEN, **EN 13279-2**, Gypsum binders and gypsum plasters; Part 2: Test methods, Bruxelas, 2006.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, CEN, **EN 1015-18**, Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar, Brussels, 2002.

EUROPEAN STANDARDS.**EN 13279-1**: gypsum binders and gypsum plasters, part 1: definitions and requirements. Pilsen, 2006a.

EUROPEAN STANDARDS.**EN 13279-2**: gypsum binders and gypsum plasters, part 2: test methods. Pilsen, 2006b.

HASELEIN, C. R. et al. Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 81-88, 2002.

HINCAPIE, A. M.; CINCOTTO, M.A. Efeito de retardadores de pega no mecanismo de hidratação e na microestrutura do gesso de construção. **Ambiente Construído**, v. 1, n. 2, p. 07-16, 1997.

IUCOLANO, F. et al. Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers. **Construction and Building Materials**, v. 99, pp. 184-191, 2015.

JUNIOR, D. G. C.; RETHWISCH, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9 ed. São Paulo. LTC. 2016.

KHALIL, A. A. et al. Effect of some waste additives on the physical and mechanical properties of gypsum plaster composites. **Construction and Building Materials**, v. 68, p. 580-586, 2014.

LAHOUIOUI, M. et al. Investigation of Fiber Surface Treatment Effect on Thermal, Mechanical and Acoustical Properties of Date Palm Fiber-Reinforced Cementitious Composites. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 8, pp. 4441-4455, 2019.

MARWARDT, L.J.; WILSON, T.R.C. **Strength and related properties of woods grown in the United States**. Washington: USDA. (Technical Bulletin, 479). pp. 67. 1935.

MEDEIROS, T. A. et al. **Propriedades de compósitos à base de gesso com diferentes resíduos para proteção térmica em edificações**. 2017. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

MESQUITA JÚNIOR, L. et al. Compósitos à base de cimento e gesso reforçados com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista da Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, 2018, v. 9, n. 3, p. 191- 198, 2018.

MORALES-CONDE, M. J.; RODRÍGUEZ-LIÑÁN, C.; PEDREÑO-ROJAS, M. A. Physical and mechanical properties of wood-gypsum composites from demolition material in rehabilitation works. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 114, p. 6-14, 2016.

MORETTI, E., BELLONI, E., AGOSTI, F. Innovative mineral fiber insulation panels for buildings: Thermal and acoustic characterization. **Applied Energy**, v. 169, pp. 421-432, 2016.

NORONHA, L, L. **Elementos Construtivos de Proteção Térmica à Base de Gesso e Resíduos Agroindustriais**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

OLIVEIRA, A. S. et al. Compósitos com matriz de gesso reforçada com fibras de madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Lavras, v.48, n.127, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2020.

OZISIK. **Transferência de Calor, um texto básico**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A., 1990.

PROTÁSIO, T. P. et al. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. **Bioresources**, Oxford, v. 8, n. 1, p. 1166-1185, 2013.

PROTÁSIO, T. P. et al. Correlações canônicas entre as características químicas e energéticas de resíduos lignocelulósicos. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, pp. 433-439, 2012.

RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama Nacional dos Resíduos Sólidos 2020**. Disponível em:< https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7212936/mod_resource/content/1/Panorama-2020-V5-unicas%20%282%29.pdf>. Acesso em: 08 de nov. 2023.

RIVERO, A. J.; BÁEZ, A. de G.; NAVARRO, J. G. New composite gypsum plaster-ground waste rubber coming from pipefoam insulation. **Construction and Building Materials**, v. 55, p. 146-152, 2014.

SCHMAL, A. K.; AVILA, M. **Projeto Construa Limpo**. Artigo Técnico Científico. 2008.

SERNA, A.; DEL RIO, M.; PALOMO, J. G. et al. Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres. **Construction and Building Materials**, v. 35, p. 633-641, 2012.

SHIROMA, L.; CAMARINI, G.; BERALDO, A.L. Effect of wood particle treatment on the properties of gypsum plaster pastes and composites. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 1032-1044, 2016.

SILVA, M. A. **Obtenção e caracterização de compósitos cimentícios reforçados com fibras de papel de embalagens de cimento**. 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)-Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Resultados preliminares de agosto de 2019**. 2019. Disponível em:< <http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares.php>>. Acesso em: 08 de nov. 2023.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO - SNIC. **Resultados preliminares de 2023**. 2023.

SKUJANS, J. et al. Measurements of heat transfer of multi-layered wall construction with foam gypsum. **Applied Thermal Engineering**, v. 27, n. 7, p. 1219-1224, 2007.

TOUTONGE, J. A. **Projeto e construção de câmaras reverberantes em escala reduzida para o estudo das características de perda de transmissão de divisórias confeccionadas a partir de materiais regionais**. 2006. Tese de M.Sc. Universidade Federal do Pará, Belém.

VELOSO, M. C. R. de A. et al. Produção e caracterização de compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduo da agroindústria do cacau. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 26, 2021.

VILLELA, L. S. et al. Desempenho físico-mecânico de compósitos à base de gesso reforçados com embalagens multicamadas trituradas. **Matéria**, Rio de Janeiro, v.25, n. 03, 2020.

VIVALDINI, D. O. et al. Revisão: fundamentos e materiais para o projeto da microestrutura de isolantes térmicos refratários de alto desempenho. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, p. 297-309, 2014.

ZHU, C. et al. Physical and mechanical properties of gypsum-based composites reinforced with PVA and PP fibers. **Construction and Building Materials**, v. 163, p. 695-705, Fev. 2018.