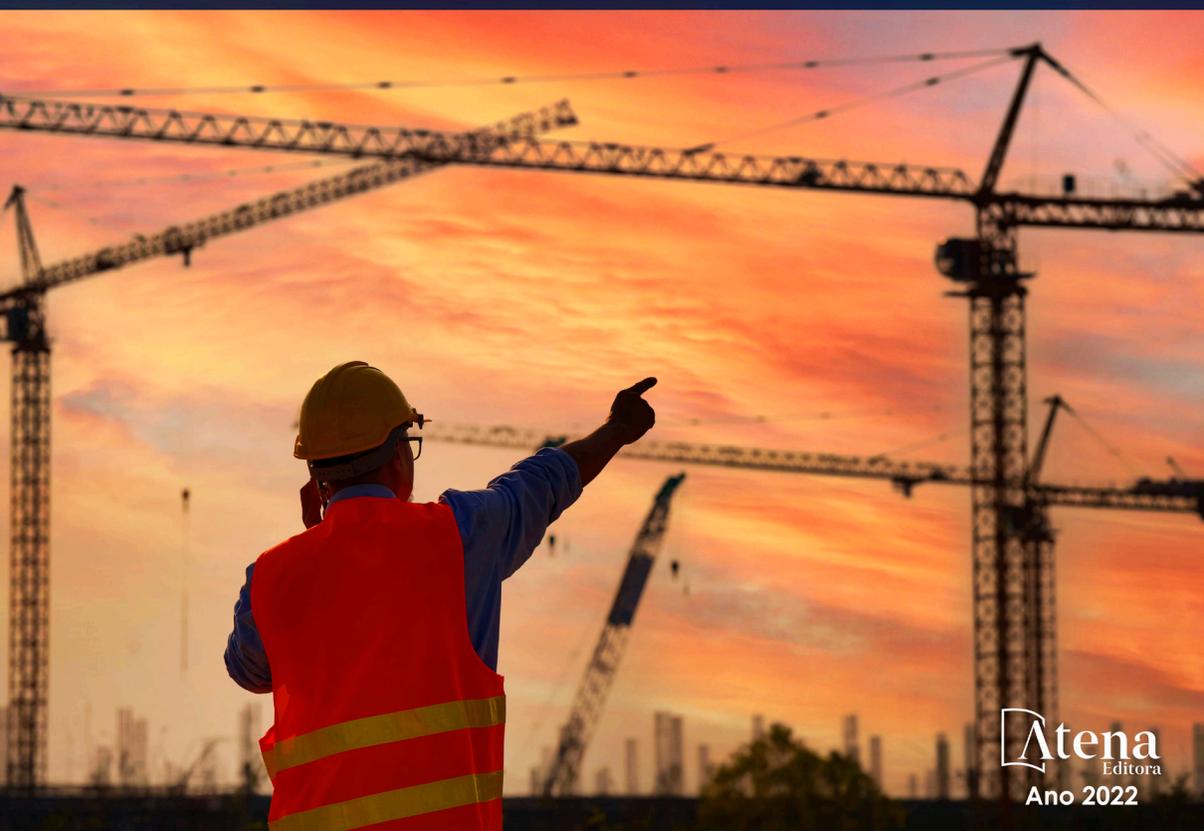


Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 3



Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 3



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Engenharia civil: demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Amanda Fernandes Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia civil: demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 3 / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0747-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.478220411>

1. Engenharia civil. 2. Construção. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A coleção “Engenharia Civil: Demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 3” possui o objetivo de expandir estudos e tecnologias para a proteção do meio ambiente pautados nos avanços científicos de questões ligadas à Engenharia Civil e contribuir na consolidação das bases (ensino, pesquisa e extensão) da instituição de ensino superior com demandas ligadas à essa linha.

Gerenciamento de resíduos sólidos, busca de melhorias com o uso dos mesmos nas propriedades do concreto/aglomerante, avanços no desenvolvimento de cisternas para uso de água e somar conhecimentos necessários acerca da vital importância da segurança no trabalho da construção civil, são alguns destaques da obra.

Sendo assim, é inevitável o desenvolvimento de atividades da construção civil mais adequadas aos princípios da construção sustentável, que não causem tantas ações degradantes, adotando formas de exploração de matéria-prima mais conscientes e alternativas, utilizando materiais e processos construtivos que objetivem a harmonia entre o homem e o meio e dando uma destinação apropriada aos resíduos.

Sabendo que a indústria da Engenharia Civil ocupa posição de evidência na economia, a Atena Editora apresenta-se como grande instrumento em difundir temas de pesquisa sustentáveis nos quais se aplicam nessa área.

Amanda Fernandes Pereira da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES AGLOMERANTES MINERAIS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA EM COMPÓSITOS COM CELULOSE *KRAFT*

Tháisa Mariana Santiago Rocha
Maria Clara Cavalini Pinto
Silvana Nisgoski
Graciela Inês Bolzón de Muniz
Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa
Leonardo Fagundes Rosembach Miranda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4782204111>

CAPÍTULO 2..... 17

DIMENSIONAMENTO DE UMA CISTERNA COM A CAPTAÇÃO DA ÁGUA PLUVIAL PARA REUTILIZAÇÃO DOMÉSTICA EM ITAJUBÁ – MG

Caio Cruz Rodrigues
João Pedro Oliveira de Souza
João Vitor Martins de Moraes
Thanus Eduardo Nogueira e Silva
Tiago Costa de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4782204112>

CAPÍTULO 3..... 25

UM ROTEIRO PARA BOAS PRÁTICAS DA SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Paulo Pinheiro Castanheira Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4782204113>

CAPÍTULO 4..... 49

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA PELO VIDRO EM TRAÇOS DE CONCRETO UTILIZANDO FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

Ciro Parente Barroso
Lucas Antonio Silva de Carvalho
Antonio Rafael de Souza Alves Bosso
Roberta Paula Medeiros Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4782204114>

CAPÍTULO 5..... 63

ANÁLISE DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TELHA EM INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA E FORMAS DE REUTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL

Laiany Teixeira Costa
Letícia Lustosa Bezerra
Ítalo Thiago Silva
Frankilandio Teixeira Costa
Amanda Fernandes Pereira da Silva

Alisson Rodrigues de Oliveira Dias
Artemária Côelho de Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4782204115>

SOBRE A ORGANIZADORA.....	73
ÍNDICE REMISSIVO.....	74

CAPÍTULO 1

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES AGLOMERANTES MINERAIS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA EM COMPÓSITOS COM CELULOSE *KRAFT*

Data de aceite: 01/11/2022

Tháisa Mariana Santiago Rocha

Professora no Instituto Federal do Paraná
(IFPR)

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade
Federal do Paraná (UFPR)

Curitiba – PR

ORCID 0000-0002-8586-6449

Maria Clara Cavalini Pinto

Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade
Federal do Paraná (UFPR)

Curitiba – PR

ORCID 0000-0002-8639-7349

Silvana Nisgoski

Professora no Departamento de Engenharia e
Tecnologia Florestal da Universidade Federal
do Paraná (UFPR)

Curitiba – PR

ORCID: 0000-0001-9595-9131

Graciela Inês Bolzón de Muniz

Professora no Departamento de Engenharia e
Tecnologia Florestal da Universidade Federal
do Paraná (UFPR)

Curitiba – PR

ORCID: 0000-0003-4417-0178

Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa

Professora no Departamento de Construção
Civil (DCC) da Universidade Federal do Paraná
(UFPR)

Curitiba – PR

ORCID 0000-0002-9421-7985

Leonardo Fagundes Rosemback Miranda

Professor no Departamento de Construção
Civil (DCC) da Universidade Federal do Paraná
(UFPR)

Curitiba – PR

ORCID 0000-0003-2729-7695

RESUMO: A madeira é um material que além de aprisionar gases causadores do efeito estufa, também demanda baixo consumo de energia quando empregada em processos construtivos, gerando para a cadeia da construção civil novas tecnologias verdes. Com o objetivo de apresentar novas alternativas que reduzam o impacto da construção no meio ambiente, este estudo avaliou a influência, nas propriedades físicas e mecânicas, de três diferentes aglomerantes minerais (cal, cimento Portland e gesso) em compósitos com fibras de celulose Kraft de eucalipto e de pinus. Os compósitos foram caracterizados no estado fresco - índice de consistência - e no estado endurecido aos 28 dias - densidade de massa, resistência à tração na flexão e à compressão. Também foram realizadas análises microscópicas a fim de se analisar a dispersão das fibras nos diferentes tipos de compósitos. A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que o tipo de aglomerante utilizado exerce maior influência no comportamento do compósito quando comparado à variação da espécie da celulose. A utilização da cal como aglomerante contribuiu para a diminuição do desempenho mecânico dos compósitos, enquanto que o cimento Portland e o gesso propiciaram a produção de compósitos

com maior desempenho mecânico. Quanto à espécie da celulose, o pinus contribuiu para o aumento da resistência à compressão.

PALAVRAS-CHAVE: Compósito, celulose, cal hidratada, cimento Portland, gesso.

INFLUENCE OF DIFFERENT MINERAL BINDERS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF *KRAFT* CELLULOSE COMPOSITES

ABSTRACT: Wood is a material that not only imprison the gases that cause the greenhouse effect but also demands low energy consumption when used in construction processes. These characteristics favor its employment, generating new green technologies for the construction sector. In order to present new alternatives that reduce the impact of construction on the environment, this study evaluated the influence, in the physical and mechanical properties, of three different mineral binders (lime, Portland cement and gypsum) on composites made with eucalyptus and pinus Kraft. The composites were characterized in the fresh state - consistency index - and in the hardened state at 28 days - mass density, tensile strength in flexing and compressing. Microscopic analyzes were also carried out to analyze the fiber dispersion in different types of composites. Based on the results it was possible to verify that the type of binder used exerts greater influence on the behavior of the composite when compared to the variation of the cellulose species. The use of lime as a binder contributed to the reduction of mechanical performance of composites, while Portland cement and gypsum provided the production of composites with higher mechanical performance. Comparing the species of the cellulose, the pinus contributed for the increase of the resistance to compression.

KEYWORDS: Composites, cellulose, lime, cement, gypsum.

1 | INTRODUÇÃO

Construções com estruturas e componentes em madeira utilizam processos construtivos de baixo consumo de energia e, conseqüentemente, liberam uma baixa quantidade de carbono em forma de CO₂. Essa característica tornou-se imprescindível para as construções atuais, visto que a concentração de dióxido de carbono na atmosfera está aumentando e contribuindo com o aquecimento global. A incorporação e/ou a introdução da madeira como material de construção proporciona a redução da emissão de CO₂ para atmosfera (MATOSKI, 2005; GUSTAVSSON; SATHRE, 2006), contribuindo para a produção de materiais sustentáveis (CORINALDESI; MAZZOLI; SIDDIQUE, 2016; AKKAOUI; CARÉ; VANDAMME, 2017). Nos últimos anos, pesquisadores concentraram seu trabalho buscando alternativas para atenuar o impacto da ascensão econômica provocado ao meio ambiente contribuindo para o desenvolvimento da tecnologia verde (KISKU *et al.*, 2017).

Com o avanço da tecnologia, observa-se cada vez mais o desenvolvimento de materiais que são produzidos a partir da combinação de propriedades sendo capaz de substituir outros materiais. Um compósito pode ser caracterizado como um material multifásico - que inclui umidade, vazios e aditivos - produzido artificialmente no qual suas propriedades estão relacionadas com os seus constituintes.

Compósitos de madeira surgem como alternativa para incorporar esses resíduos na produção de novos materiais e, geralmente, são produzidos a partir da mistura de um aglomerante com as partículas de madeira (YOUNGQUIST, 1999), em que o aglomerante atua como ligante, sendo capaz de transmitir os esforços entre as fibras, mantendo-as protegidas do meio e permitindo sua orientação adequada (PARCHEN, 2012). Como são produzidos a partir de materiais heterogêneos, suas propriedades dependem da proporção e das características de seus componentes, e por isso suas propriedades físicas e mecânicas devem ser estudadas, no intuito de avaliar e verificar o desempenho do material ou produto final (MATOSKI, 2005; MARTINS, 2002; CALLISTER, 2008). Desde então, o desenvolvimento de compósitos para a construção utilizando fibras é uma alternativa interessante capaz de minimizar as preocupações com o meio ambiente (KHORAMI, 2013).

Pesquisas relacionadas a compósitos de cimento com fibras naturais têm evoluído devido ao aumento da procura pela utilização de produtos sustentáveis, de baixo custo, com baixa densidade, com desempenho adequado e com disponibilidade de matéria-prima (ONUAGULUCH; BANTHIA, 2016). As fibras de celulose podem ser utilizadas em compósitos de cimento e, geralmente, são obtidas por um processo mecânico ou químico, sendo que o processo *Kraft* tem sido o mais utilizado (NEGRO *et al.*, 2006). Dentre os aglomerantes utilizados para a produção de compósitos de fibras, ao ser comparado com o cimento Portland e com a cal, o processo de produção do gesso emite uma menor quantidade de CO₂, além de consumir menor quantidade de energia, o que pode levar o gesso a ser considerado um “aglomerante verde” (CARVALHO *et al.*, 2008).

Neste sentido, o objetivo deste estudo é avaliar a influência, nas propriedades físicas e mecânicas, de três diferentes aglomerantes minerais (cal, cimento Portland e gesso) em compósitos com fibras de celulose *Kraft* de eucalipto e de pinus.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Os aglomerantes utilizados foram a cal hidratada do tipo CH-III, o cimento Portland CPV-ARI RS e o gesso universal de pega lenta 60. A composição granulométrica a laser e a composição química dos aglomerantes (esta realizada através do ensaio de espectrometria de fluorescência de raios-X - FRX) estão apresentadas nas Figura 1 e Tabela 1, respectivamente.

Quanto à composição química dos aglomerantes, comparando-se o teor de óxidos da cal empregada na pesquisa com os valores indicados pela NBR 7175 (ABNT, 2003), a soma do teor de CaO e MgO estão abaixo do limite apresentado na norma. Em contrapartida, o teor de CO₂ encontra-se compatível com o estabelecido pela NBR 7175 (ABNT, 2003). Já para o cimento CPV ARI, de acordo com a NBR 16.697 (ABNT, 2018), a composição química encontra-se em conformidade com os limites estipulados por norma.

Por fim, quanto ao gesso, a NBR 13207 (ABNT, 2017) indica que o valor mínimo de anidrido sulfúrico (SO₃) é 53%, diferente do 51% presente no gesso utilizado.

O aditivo superplastificante empregado foi o MC-PowerFlow 4000 – composto por uma solução de polímeros policarboxilatos (PCE) em meio aquoso – com densidade de 1,12 g/cm³ e com dosagem recomendada pelo fabricante de 0,2 a 5,0% com relação à massa do aglomerante.

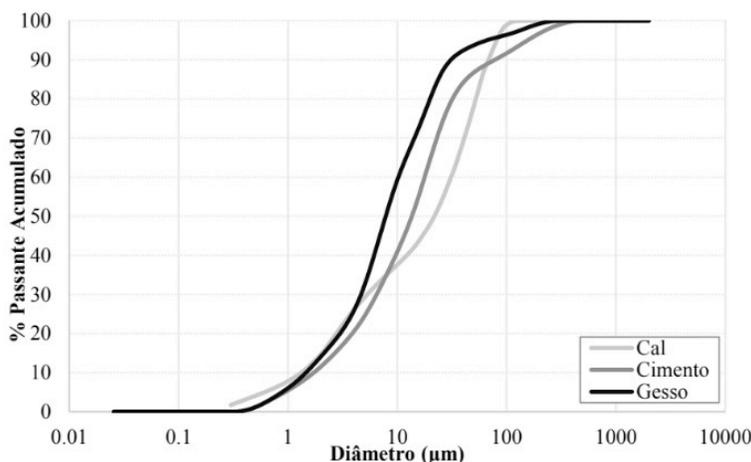


Figura 1 – Composição granulométrica a laser dos aglomerantes

Fonte: Os autores.

Parâmetros	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SrO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	CO ₂ (%)	R. I. (%)	P. F. (%)
Cal	49,7	31,1	0,024	-	-	-	-	-	14,4	-	-
Cimento	-	5,5	3,1	-	-	-	-	-	-	11,8	3,5
Gesso	42,7	0,1	51	0,3	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	5,63

Legenda: R. I. – resíduo insolúvel; P. F. – Perda ao fogo.

Tabela 1 – Composição química dos aglomerantes

Fonte: Os autores.

As celuloses *Kraft* não branqueada de eucalipto e pinus (Figura 2) foram caracterizadas quanto às dimensões médias de 30 fibras inteiras de cada espécie (Equação 1) (Tabela 2). O equipamento utilizado foi o microscópio Olympus com escala graduada.

$$e = [(LF - LL)/2] \quad \text{Eq. 1}$$

Em que: e= Espessura da parede (calculada) (µm); LF= Diâmetro da fibra (µm); LL=Diâmetro do lume (µm).

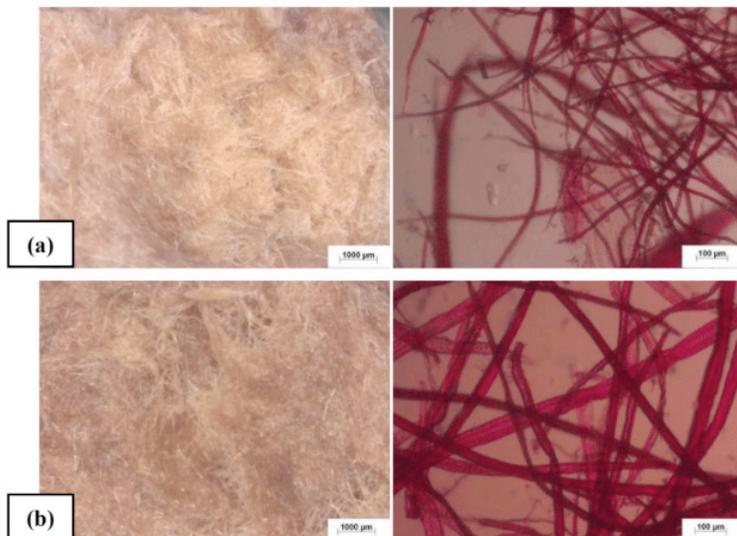


Figura 2 – Amostra de celulose *Kraft* e fibras individuais de eucalipto (a) e pinus (b).

Fonte: Os autores.

Espécie / Parâmetro		Comprimento (μm)	Diâmetro fibra (μm)	Diâmetro lume (μm)	Espessura parede (μm)
Eucalipto	Mínimo	910,0	11,0	0,5	2,5
	Média	1.256,0	18,0	5,0	6,7
	Máximo	1.850,0	25,0	10,0	11,5
	Desvio padrão	213,2	3,6	2,0	1,9
Pinus	Mínimo	2.120,0	35,0	5,0	2,5
	Média	3.220,0	51,0	30,0	10,6
	Máximo	5.000,0	75,0	69,0	20,0
	Desvio padrão	710,9	11,6	17,5	5,6

Tabela 2 – Dimensões das fibras de celulose *Kraft* de eucalipto e pinus

Fonte: Os autores.

2.2 Métodos

Foram produzidos diferentes compósitos contendo as fibras de celulose. O teor do aditivo superplastificante foi utilizado com relação à massa do aglomerante. A composição de cada compósito e as proporções de cada material utilizado estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4.

Identificação	Aglomerante			Celulose		Aditivo SP
	Cal	Cimento	Gesso	Eucalipto	Pinus	
Cal-Eucalipto (CE)	x			x		
Cal-Pinus (CP)	x				x	
Cal-Eucalipto com superplastificante (CESP)	x			x		x
Cal-Pinus com superplastificante (CPSP)	x				x	x
Cimento Portland-Eucalipto (CPE)		x		x		
Cimento Portland-Pinus (CPP)		x			x	
Gesso-Eucalipto (GE)			x	x		
Gesso-Pinus (GP)			x		x	

Tabela 3 – Composição dos compósitos produzidos

Identificação	Relação água/aglomerante (em massa)	Relação água/celulose (em massa)	Teor de aditivo (%)
CE	0,80	0,15	-
CP	0,80	0,15	-
CESP	0,75	0,15	0,06
CPSP	0,75	0,15	0,06
CPE	0,50	0,15	-
CPP	0,50	0,15	-
GE	0,70	0,15	-
GP	0,70	0,15	-

Tabela 4 – Proporção dos componentes dos compósitos

A mistura dos materiais para produção dos compósitos de cal foi realizada adaptando-se a NBR 13.276 (ABNT, 2016). Primeiramente foram adicionados a água, o aditivo e a celulose à argamassadeira e o misturador foi acionado por um minuto em velocidade para se dispersar a celulose. Decorrido o período, a cal foi adicionada e a mistura ocorreu por mais três minutos em velocidade baixa.

Os compósitos produzidos com cimento Portland foram realizados de acordo com a NBR 13.276 (ABNT, 2016) com algumas adaptações. Adicionou-se primeiramente a água e, em seguida, o cimento. O compósito foi misturado em argamassadeira em velocidade baixa por 30s, em seguida adicionou-se a celulose gradativamente durante 30s, sem parar a mistura. Aumentou-se a velocidade para alta por mais 30s.

Para a produção dos compósitos com gesso, adaptaram-se os procedimentos indicados pela NBR 12.128 (ABNT, 2017). Adicionou-se primeiramente a água, realizou-se o polvilhamento do gesso anidro, durante 1 min, para que fosse mantida em repouso durante 2 min. A composição foi misturada em argamassadeira, em velocidade baixa, e, simultaneamente, adicionou-se a madeira, gradativamente, durante 30s. A argamassadeira

foi mantida ligada em velocidade baixa por mais 30s.

Ao término, as misturas foram homogeneizadas manualmente por 30s para então realizar o ensaio de determinação do índice de consistência (exceto para as composições com gesso) além de serem moldados 3 corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm) para cada composição no intuito de verificar suas propriedades no estado endurecido aos 28 dias, de acordo com a NBR 13.279 (ABNT, 2005) e NBR 13.280 (ABNT, 2005).

Ainda no estado endurecido, após a ruptura dos corpos de prova de cada amostra, foram obtidas imagens em estereomicroscópio Zeiss Discovery V12 com auxílio do software Axio Vision 4.7.

O delineamento estatístico utilizado foi análise fatorial com ênfase na natureza dos tratamentos (aglomerante e celulose). Para a comparação entre as médias, utilizou-se ANOVA em conjunto com o teste de Tukey, no nível de probabilidade de 95%.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados dos ensaios de índice de consistência – com valores entre 128 mm e 214 mm –, de densidade de massa endurecida – com valores entre 914,58 e 1404,73 kg/m³ –, de resistência à tração na flexão – com valores entre 0,58 e 3,92 MPa – e à compressão – com valores entre 1,06 e 9,64 MPa.

Identificação	Estado fresco	Estado endurecido		
	Índice de consistência (mm)	Densidade de massa endurecida (kg/m ³)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
CE	185	1013,35	0,70	1,06
CP	214	1012,02	0,84	2,06
CESP	179	1047,66	0,73	1,21
CPSP	199	1019,44	0,58	1,22
CPE	151	1359,66	3,92	8,17
CPP	128	1404,73	3,11	9,64
GE	-	914,58	3,25	7,06
GP	-	931,59	3,02	6,92

Tabela 5 – Resultado dos ensaios no estado fresco e no estado endurecido

Na Tabela 6 estão apresentados os valores médios obtidos pela análise fatorial das propriedades no estado endurecido para cada fator e suas interações.

Na Figura 3 estão apresentados os resultados obtidos a partir dos índices de consistência dos compósitos desenvolvidos. É possível verificar que para os compósitos produzidos com cal, diferente do esperado, não apresentaram maior índice de consistência para os compósitos que continham superplastificante em sua composição, isto pode ter

ocorrido, devido ao fato do superplastificante ser um aditivo desenvolvido para o cimento, sendo assim a sua eficiência é reduzida quando utilizado na cal.

Ao observar o índice de consistência dos compósitos produzidos com cimento Portland, verifica-se que as misturas contendo celulose de eucalipto apresentaram maior índice. Isto porque, a celulose de eucalipto é uma fibra curta, de comprimento de 0,5 a 2,0 mm (IBÁ, 20150), podendo apresentar melhor dispersão (TONOLI *et al.*, 2010), proporcionando maior trabalhabilidade à composição.

Avaliando a influência dos aglomerantes, é possível constatar que o maior índice de consistência foi obtido pelas composições produzidas com cal. Isso pode ser explicado pelo fato de que a cal é um material muito fino, e devido à sua grande área específica, tende a se comportar com um lubrificante sólido entre os componentes da mistura (GUIMARÃES, 2002). Essa característica também garante a propriedade de retenção de água (GUIMARÃES, 2002), contribuindo para os resultados obtidos neste estudo.

FONTE DE VARIAÇÃO			ESTADO ENDURECIDO			
FATORES / NÍVEIS	Densidade de massa endurecida (kg/m ³)		Resistência à tração na flexão (MPa)		Resistência à compressão (MPa)	
A - Aglomerante	S		S		S	
1 - Cal	1012,69	b	0,77	b	1,56	c
	1,00%		17,52%		26,54%	
2 - Cal com superplastificante	1033,55	b	0,66	b	1,22	c
	1,93%		21,15%		6,64%	
3 - Cimento Portland	1382,19	a	3,51	a	8,90	a
	4,11%		17,54%		18,92%	
4 - Gesso	923,08	c	3,14	a	6,99	b
	3,52%		11,66%		9,42%	
B - Celulose	NS		NS		S	
1 - Eucalipto	1083,81	a	2,15	a	4,37	b
	16,17%		71,20%		77,32%	
2 - Pinus	1091,94	a	1,89	a	4,96	a
	17,90%		67,50%		78,25%	

S = Valor calculado de F significativo a 95% de probabilidade; **NS** = Valor calculado de F não significativo a 95% de probabilidade. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Valores em vermelho indicam o coeficiente de variação (%).

Tabela 6 – Valores médios obtidos pela análise fatorial das propriedades no estado endurecido para cada fator e suas interações

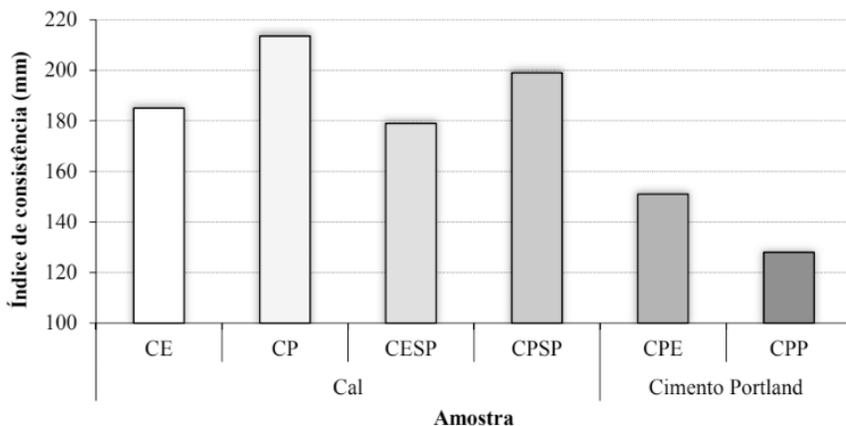


Figura 3 – Resultado dos índices de consistência dos compósitos produzidos

Fonte: Os autores.

Na Figura 4 estão apresentados os resultados de densidade de massa endurecida aos 28 dias. É possível verificar que para os compósitos produzidos com cal e gesso, os valores encontram-se inferiores aos de cimento Portland, isto porque, a massa específica do cimento Portland é muito superior à massa específica da cal e do gesso. Avaliando a influência das fibras de celulose, é possível observar que independente do tipo utilizado, os resultados apresentaram-se muito próximos.

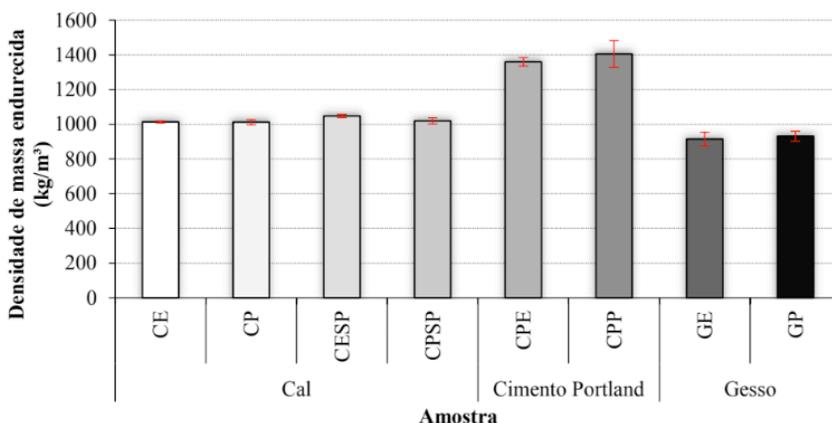


Figura 4 – Resultado das densidades de massa endurecida dos compósitos produzidos

Fonte: Os autores.

Na Figura 5 estão apresentados os resultados de resistência à tração na flexão aos 28 dias. É possível verificar que para os compósitos produzidos com cal, os valores

encontram-se inferiores aos produzidos com gesso e com cimento Portland, isto porque, a propriedade de retenção de água da cal (JOHN, 2003; CARASEK, 2010), tende a provocar ao longo dos dias, a formação de vazios decorrentes da evaporação da água retida nos poros, contribuindo para a diminuição da resistência. Avaliando a influência das fibras de celulose, é possível observar que, diferente do esperado, independente do tipo utilizado, os resultados apresentaram-se muito próximos, demonstrando que em compósitos com aglomerantes minerais, fibras de celulose longas ou curtas exercem pouca influência para determinação da resistência à tração na flexão.

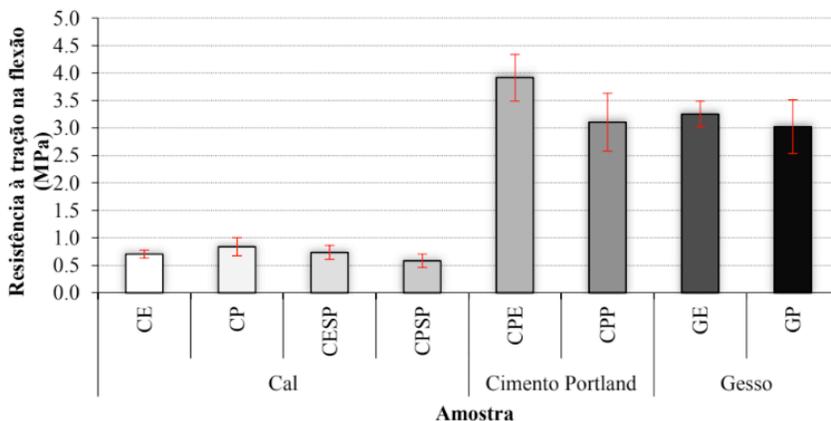


Figura 5 – Resultado das resistências à tração na flexão dos compósitos produzidos

Fonte: Os autores.

Na Figura 6 estão apresentados os resultados de resistência à compressão aos 28 dias. É possível verificar, novamente, que para os compósitos produzidos com cal, os valores encontram-se inferiores aos produzidos com gesso e com cimento Portland, isto porque, conforme explicado anteriormente, a formação de vazios decorrentes da evaporação da água retida nos poros, tende a contribuir para a diminuição da resistência. Avaliando a influência das fibras de celulose, foi verificada diferença estatística entre os dois tipos utilizados. Constatou-se que para a resistência à compressão, fibras longas tendem a propiciar maiores valores quando produzidos compósitos com aglomerantes minerais. Assim como na produção de papel, fibras de celulose de fibra longa tendem a apresentar maiores resistências (IBÁ, 2015).

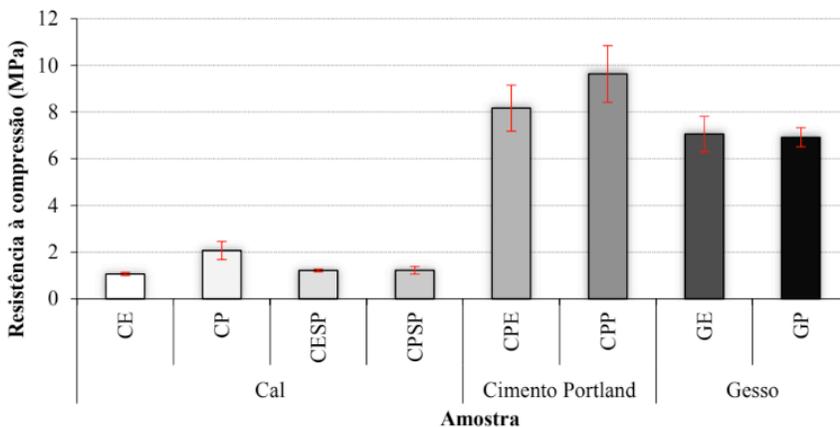


Figura 6 – Resultado das resistências à compressão dos compósitos produzidos

Fonte: Os autores.

Ao correlacionar as resistências mecânicas com a densidade de massa endurecida aos 28 dias (Figura 7) dos compósitos produzidos com aglomerantes aéreos, observa-se que existe uma boa correlação tanto para a resistência à tração na flexão ($R^2 = 0,9375$) como para a resistência à compressão ($R^2 = 0,9405$). Ao correlacionar a resistência à compressão com a resistência à tração na flexão aos 28 dias (Figura 8), observa-se que existe uma boa correlação ($R^2 = 0,9908$). Isto indica que para as propriedades avaliadas, a retenção de água na composição proporcionada pela utilização da cal tende a contribuir para a diminuição da resistência aos 28 dias.

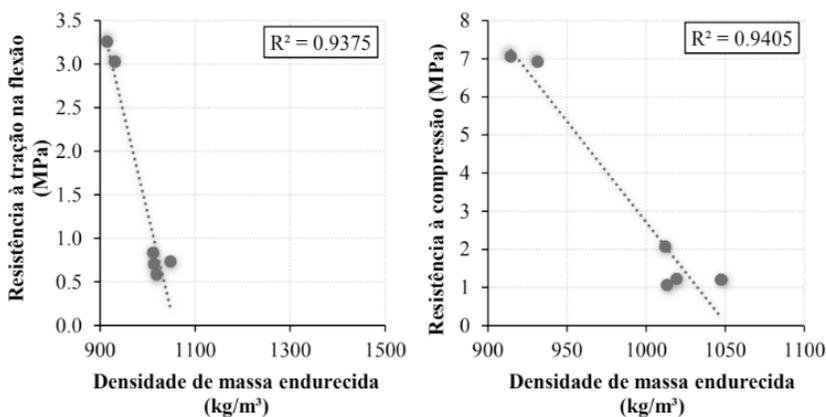


Figura 7 – Correlação entre as resistências mecânicas e a densidade de massa endurecida dos compósitos produzidos com os aglomerantes aéreos

Fonte: Os autores.

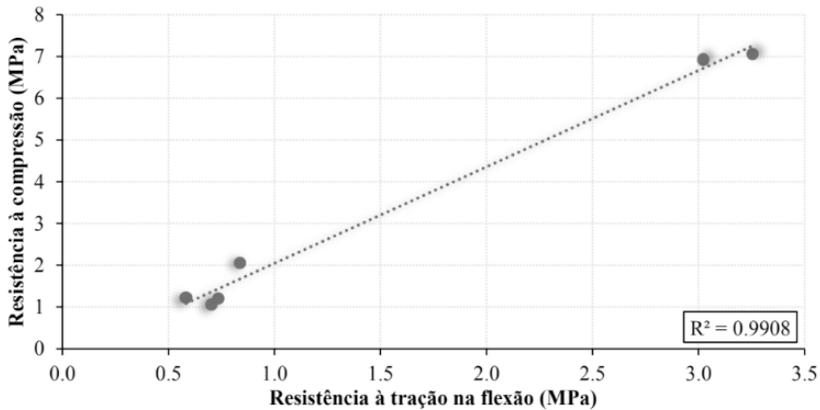
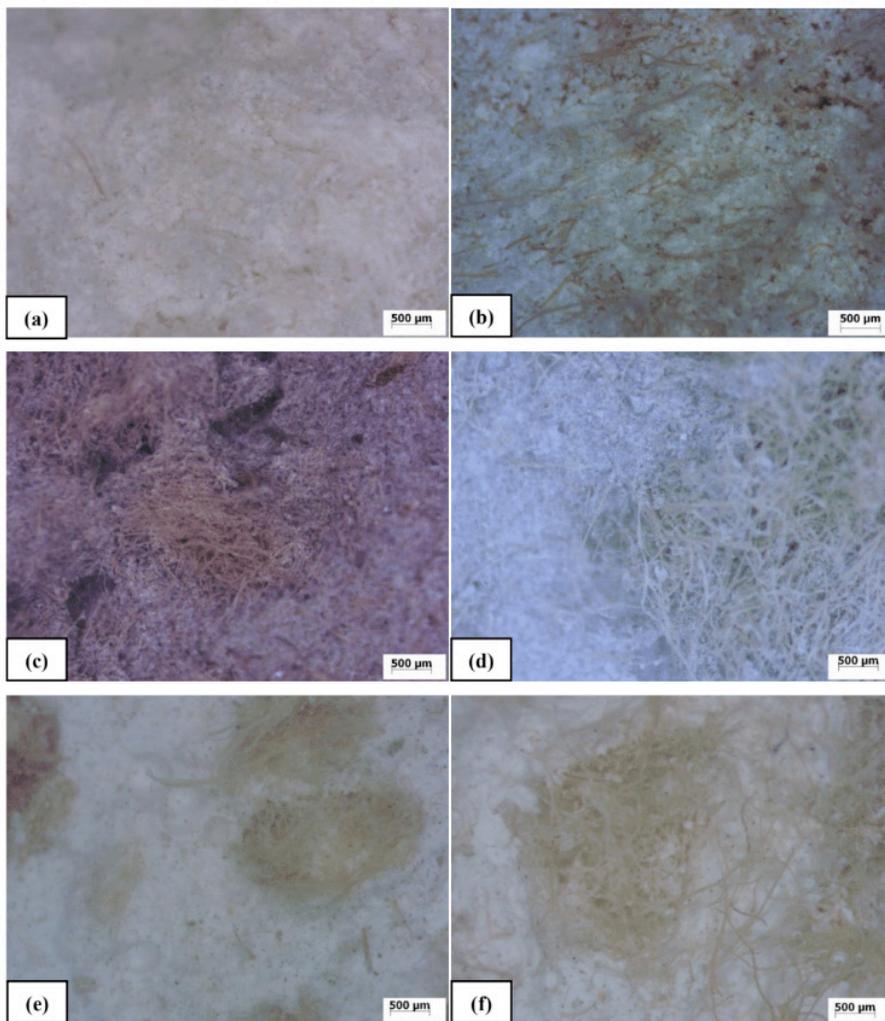


Figura 8 – Correlação entre resistência à tração na flexão com a resistência à compressão dos compósitos produzidos com os aglomerantes aéreos

Fonte: Os autores.

Na Figura 9 (a, b, c, d, e, f), estão apresentadas as imagens das amostras de cada composição produzida neste estudo. Sendo possível observar nas Figuras 9a e 9b os compósitos de cal com eucalipto e pinus, respectivamente. Nas Figuras 9c e 9d os compósitos de cimento Portland com eucalipto e pinus, respectivamente. E nas Figuras 9e e 9f os compósitos de gesso com eucalipto e pinus, respectivamente.

É possível observar que os compósitos produzidos utilizando a cal como aglomerante (Figuras 9a e 9b) apresentaram melhor dispersão das fibras de celulose, quando comparado com os compósitos produzidos com cimento Portland e gesso (Figuras 9c, 9d, 9e e 9f). Entretanto, apesar da boa dispersão, as propriedades mecânicas ainda foram fortemente influenciadas pelo aglomerante utilizado, ou seja, os compósitos produzidos com cimento Portland e gesso, apesar da pouca dispersão das fibras, apresentaram resultados superiores aos compósitos produzidos com cal.



Legenda: (a) refere-se ao compósito CE, (b) refere-se ao compósito CP, (c) refere-se ao compósito CPE, (d) refere-se ao compósito CPP, (e) refere-se ao compósito GE, (f) refere-se ao compósito GP.

Figura 9 - Imagens macroscópicas dos compósitos produzidos

Fonte: Os autores.

4 | CONCLUSÕES

A busca por tecnologias que permitam à construção civil reduzir seu impacto no meio ambiente impulsiona pesquisas de compósitos que liberem menos gases de efeito estufa durante sua produção. Buscando atender a essa demanda, foram desenvolvidos compósitos de cal, cimento Portland e gesso utilizando fibras de celulose *kraft*. Por fim, foi possível concluir que o tipo de aglomerante exerce maior influência sobre o comportamento do compósito – sendo densidade de massa endurecida, resistência à tração na flexão e à

compressão - quando comparado à variação do tipo de celulose – eucalipto e pinus. Os compósitos desenvolvidos com cal apresentaram baixa resistência mecânica, enquanto que ao utilizar o cimento Portland e o gesso os compósitos apresentaram aumento significativo da resistência mecânica. A espécie da fibra de celulose exerceu influência somente para a resistência à compressão dos compósitos, demonstrando que neste quesito a celulose de pinus foi mais eficiente do que a celulose de eucalipto.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME/DCC) e ao Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal do Paraná pela disponibilização dos materiais, dos laboratórios e dos equipamentos necessários para o desenvolvimento deste estudo. À empresa Klabin Papel e Celulose, Divisão Monte Alegre pelo fornecimento da celulose. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná; à Fundação Araucária, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AKKAOUI, A.; CARÉ, S.; VANDAMME, M. Experimental and micromechanical analysis of the elastic properties of wood-aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 134, p. 346–357, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7.571**: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12.128**: Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.207**: Gesso para construção civil – Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16.697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil**. 2 ed. v. 2. Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON. São Paulo. 2010.

CARVALHO, M. A.; CALIL JÚNIOR, C.; SAVASTANO JUNIOR, H.; TUBINO, R.; CARVALHO, M. T. Microstructure and mechanical properties of gypsum composites reinforced with recycled cellulose pulp. **Materials Research**, v. 11, n. 4, p. 391-397, 2008.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; SIDDIQUE, R. Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste. **Construction and Building Materials**, v. 123, p. 281–289, 2016.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal: Fundamentos e aplicações na engenharia civil**. 2.ed. Pini, São Paulo, 2002.

GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. **Building and Environment**, v. 41, p. 940–951, 2006.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Celulose**, 2015. Acessado em: 11/01/2018. <<http://iba.org/pt/produtos/celulose>>

JOHN, V. M. **Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas**. V Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassa, São Paulo. 2003.

KHORAMI, M.; GANJIAN, E. The effect of limestone powder, silica fume and fibre content on flexural behaviour of cement composite reinforced by waste Kraft pulp. **Construction and Building Materials**, v. 46, p. 142–149, 2013.

KISKU, N.; JOSHI, H.; ANSARI, M.; PANDA, S.K.; NAYAK, S.; DUTTA, S. C. A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. **Construction and Building Materials**, v. 131, p. 721–740, 2017.

MARTINS, S. C. F. **Pisos de argamassa reforçada com partículas de bambu**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MATOSKI, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

NEGRO, C.; BLANCO, A.; PÍO, I. S.; TIJERO, J. Methodology for flocculant selection in fibre-cement manufacture. **Cement Concrete Composites**, v. 28, p. 90-96, 2006.

ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review. **Cement and Concrete Composites**, v. 68, p. 96-108, 2016.

PARCHEN, C. F. A. **Compósito madeira cimento de baixa densidade produzido com método de compactação vibro dinâmica**. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TONOLI, G. H. D.; SAVASTANO, H.; FUENTE, E.; NEGRO, C.; BLANCO, A.; LAHR, F. R. Eucalyptus pulp fibres as alternative reinforcement to engineered cement-based composites. **Industrial crops and products**, v. 31, n. 2, p. 225-232, 2010.

YOUNGQUIST, J. A. Wood handbook—Wood as an engineering material: Wood-based composites and panel products. **Forest Products Laboratory**, 1999.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidentes 25, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 35, 37, 44, 46, 47, 48

Aditivo 4, 5, 6, 8, 51, 52, 55, 59, 60, 61, 72

Aglomerante 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 55

Água 6, 8, 10, 11, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 49, 51, 56, 57, 59, 68, 70

Água pluvial 17, 19, 22

Alternativas de utilização 63

Areia 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 60, 61, 68, 70

C

Caixa d'água 17

Cal hidratada 2, 3, 14, 15, 56

Celulose 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15

Cerâmica vermelha 63, 64, 65, 67, 69, 70, 71, 72

Chamote 63, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Chuva 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24

Cimento Portland 1, 2, 3, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 55, 61, 70

Cisterna 17

Compósito 1, 2, 5, 6, 13, 15

Concreto 15, 33, 37, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 59, 61, 62, 70, 73

Consistência 1, 7, 8, 9, 14, 49, 51

Construção Civil 1, 13, 14, 15, 25, 26, 27, 32, 37, 41, 42, 46, 50, 61, 63, 64, 69, 71, 73

D

Dados pluviométrico 17

Desperdício 19, 63, 66

G

Gesso 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14

I

Impacto ambiental 50, 63, 68, 71

Indústrias 44, 46, 50, 63, 64, 65, 68, 69, 71

K

KRAFT 1, 2, 3, 4, 5, 13, 15

N

Normas regulamentadoras 27, 29, 38

P

Planejamento fatorial 51, 52, 57, 58, 59, 60

Prevenção 25, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 45, 47, 48

R

Reciclado 51, 69, 70, 71

Resíduo 4, 50, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Resíduo de Cerâmica Vermelha – RCV 64, 70

Resíduos cerâmicos 63, 69

Resíduos sólidos 61, 64, 71, 72

Resistência 1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 49, 50, 51, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 66, 67, 68, 69, 70, 71

S

Saúde 25, 26, 27, 28, 29, 34, 35, 38, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 64

Segurança 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48

Sustentabilidade 23, 45, 50, 63, 64

T

Tecnologia verde 2

Telha 63, 67, 72

Traço 49, 50, 51, 52, 55, 57, 58, 61

Treinamentos diários de segurança 27, 47

V

Vidro 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 59, 60, 61, 62

www.atenaeditora.com.br 
contato@atenaeditora.com.br 
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 
www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIA CIVIL:

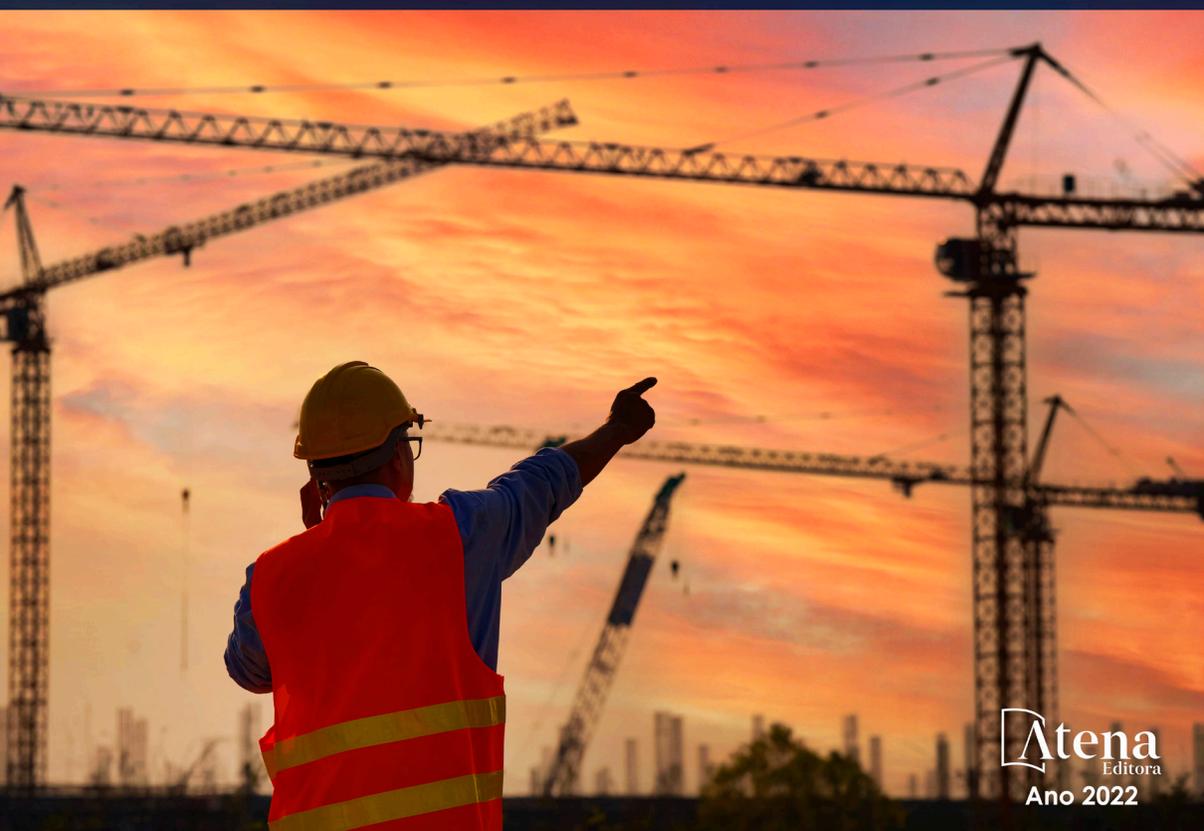
Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 3



www.atenaeditora.com.br 
contato@atenaeditora.com.br 
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 
www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 3




Atena
Editora
Ano 2022