

Universidade Estadual Paulista – UNESP

“Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT)

**“PRODUÇÃO DE EMPLASTRO DE GESSO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO RESÍDUO *GRITS*
PROVENIENTE DA INDÚSTRIA DE CELULOSE”**

Saulo Vinicius Martins Souza

Orientador: Prof. Dr. Aldo Eloizo Job

Co-orientador: Prof. Dr. Flávio Camargo Cabrera



Presidente Prudente

2020

Saulo Vinicius Martins Souza

**“PRODUÇÃO DE EMPLASTRO DE GESSO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO RESÍDUO *GRITS*
PROVENIENTE DA INDÚSTRIA DE CELULOSE”**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do título de Mestre à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, linha de pesquisa de Materiais Poliméricos, Híbridos e Nano-Estruturados, sob a orientação do Prof. Dr. Aldo Eloizo Job e co-orientação do Prof. Dr. Flávio Camargo Cabrera.

Presidente Prudente

2020

Souza, Saulo Vinicius Martins.

Produção de emplastro de gesso com substituição parcial do resíduo grits proveniente da indústria de celulose / Saulo Vinicius Martins Souza – Presidente Prudente, 2020

46 f. : il, tabs., fotos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Aldo Eloizo Job

Coorientador: Flávio Camargo Cabrera

1. Emplastro. 2. Celulose. 3. Compósito. 4. Grits. 5. Gesso. I. Título

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE SAULO VINICIUS MARTINS SOUZA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 30 dias do mês de janeiro do ano de 2020, às 09:00 horas, no(a) UNESP - Presidente Prudente, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP - Presidente Prudente, Profa. Dra. ANA MARIA PIRES do(a) Departamento de Química e Bioquímica / UNESP/Câmpus de Presidente Prudente, Prof. Dr. FERNANDO SÉRGIO OKIMOTO do(a) Unesp/FCT, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de SAULO VINICIUS MARTINS SOUZA, intitulada **Produção de emplastro de gesso com substituição parcial do resíduo Grits proveniente da indústria de celulose**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB

Profa. Dra. ANA MARIA PIRES

Prof. Dr. FERNANDO SÉRGIO OKIMOTO



Termo de Aprovação

Saulo Vinicius Martins Souza

“PRODUÇÃO DE EMPLASTRO DE GESSO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO RESÍDUO *GRITS* PROVENIENTE DA INDÚSTRIA DE CELULOSE”

Orientador: Prof. Dr. Aldo Eloizo Job
Departamento de Física, FCT-UNESP Campus de Presidente Prudente.

Co-Orientador: Prof. Dr. Flávio Camargo Cabrera
Departamento de Física, FCT-UNESP Campus de Presidente Prudente.

Banca Avaliadora:

Prof. Dr. Fernando Sérgio Okimoto
Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente, FCT-UNESP
Campus de Presidente Prudente.

Profa. Dra. Ana Maria Pires
Departamento de Química e Bioquímica / UNESP – Campus de
Presidente Prudente.

Dedico esse trabalho à minha esposa,
meus pais e à minha família por
estarem presentes nos momentos
difíceis, sempre me incentivando.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por estar presente em minha vida e me abençoar grandemente até o presente momento.

A minha esposa pelo amor, paciência, incentivo e compressão nos momentos em que estive ausente.

Aos meus pais, Orsival e Aladirce, que sempre fizeram o impossível para me oferecer o melhor em tudo, pelo grande apoio e incentivo nesta jornada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Aldo Eloizo Job, pois acreditou na minha capacidade muito mais do que eu mesmo, ofereceu-me um grande incentivo e muitos conselhos.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Flávio Camargo Cabrera pela confiança depositada em mim, por ter sido um grande amigo nos momentos difíceis, por ter acreditado que eu seria capaz de conseguir quando eu mesmo não acreditava.

Aos professores Elton e Amaro por abrir as portas dos laboratórios para realização de alguns ensaios.

Ao professor Fernando pela parceria e sugestões.

Aos meus amigos Rafael Colchon, Diego Gonçalves, Renato Brescansin, pelo grande incentivo e apoio.

Ao grupo LTBA, do departamento de Física da UNESP de Presidente Prudente, em especial Gabrieli, Giovani, Guilherme, Nelissa, Fabio, Laura, Gabriel, Williene, Peixoto, Dalita e Giovanni Barrera pela grande amizade que foi construída.

Aos justos nascem luz das
trevas: Ele é piedoso, misericordioso e justo.
(Salmos 112:4)

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

%	Porcentagem
ABNT	Associação Brasileiras de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
D	Dureza
EVA	Acetato Vinilo de etileno
F	Força
Ff	Carga
g	Gramas
GE/GR	Porcentagem de Gesso por porcentagem de <i>Grits</i>
Kg	Quilogramas
L	Distância
m	Massa
m ³	Metros cúbicos
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
mm	milímetros
mm ³	Milímetros cúbicos
MPA	Unidade de tensão
N	Newton
NBR	Norma Brasileira;
°C	Graus Celsius
φ	Diâmetro da esfera
PSI	Libra força por polegada quadrada
PVC	Policloreto de Vinila
Rf	Resistência a flexão
S	Segundos
t	Média da profundidade
UNE	Norma Espanhola
ρ	Densidade
v	Volume
Q_{apl}	Calor aplicado;
Q_g	Calor gerado;
α_{ef}	Calor aplicado;
λ_{mat}	Condutividade térmica do material;

S_{esp} Área do corpo de prova;
 ΔT Diferença de Temperatura nas faces do Corpo de prova;
 e_{esp} Espessura do corpo de prova

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Processo Kraft</i>	19
<i>Figura 2 - Resíduo Grits proveniente da indústria de celulose.</i>	24
<i>Figura 3 - Resíduo Grits após secagem</i>	24
<i>Figura 4 - Resíduo Grits moído.</i>	25
<i>Figura 5 - Resíduo Grits após peneiramento.</i>	25
<i>Figura 6 – Gesso.</i>	25
<i>Figura 7 - Forma cúbica tripla 50X50x50mm.</i>	26
<i>Figura 8 - Preparação dos Corpos de prova cúbicos.</i>	27
<i>Figura 9 - Fôrma Tripla retangular 160x40x40mm.</i>	27
<i>Figura 10 - Preparação dos corpos de prova retangulares.</i>	27
<i>Figura 11 – Fôrma quadrada 19cm x 19cm x 2cm para fabricação das placas</i>	28
<i>Figura 12 – Processamento das amostras</i>	28
<i>Figura 13 - Aparelho Vicat</i>	30
<i>Figura 14 – Aparato para Ensaio Térmico. Adaptado da ASTM C518/17 e da ASTM C1363/19.</i>	32
<i>Figura 15 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) do resíduo Grits a) 1000X, b) 4000X.</i>	34
<i>Figura 16 – Distribuição de partículas do resíduo.</i>	35
<i>Figura 17 – Espectro de EDS do resíduo Grits</i>	35
<i>Figura 18 - Realização do teste de Vicat.</i>	36
<i>Figura 19 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos compósitos de gesso e Grits com 1000X, a) amostra de referência, b) 15% de Grits, c) 25%, d) 50%.</i>	38
<i>Figura 20 - Realização do ensaio de dureza superficial.</i>	39
<i>Figura 21 – Gráfico de resultados de compressão.</i>	40
<i>Figura 22 - Realização do ensaio de flexão.</i>	41
<i>Figura 23 – Gráfico dos resultados de resistência à flexão</i>	41
<i>Figura 24 - Realização do ensaio de compressão axial.</i>	42
<i>Figura 25 - Gráfico de resultados de compressão axial.</i>	43
<i>Figura 26 – Micrografias com 25X a) Amostra com 21 dias, b) Amostra com 28 dias</i>	44
<i>Figura 27 – Gráficos do aquecimento dos termopares: a) Referência; b) 85%; c) 75%; d) 50%.</i>	45
<i>Figura 28 – Espectros no infravermelho do resíduo Grits, dos compósitos e do gesso puro.</i>	46

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Referências de composição do resíduo Grits.</i>	20
<i>Tabela 2 – Formulações.</i>	26
<i>Tabela 3 -Composição determinada por fluorescência de Raio X.</i>	35
<i>Tabela 4 - Classificação para início e fim de pega.</i>	36
<i>Tabela 5 - Resultados obtidos de início e fim de pega.</i>	37
<i>Tabela 6 – Densidade volumétrica.</i>	37
<i>Tabela 7 – Espectroscopia de energia dispersiva – EDS.</i>	39
<i>Tabela 8 - Resultado do ensaio de dureza superficial.</i>	40
<i>Tabela 9 - Resultado do ensaio de Compressão</i>	40
<i>Tabela 10 - Resultado do ensaio de resistência à flexão.</i>	42
<i>Tabela 11 -Resultados para o ensaio de resistência à compressão axial.</i>	43
<i>Tabela 12 -Resultados para o ensaio de resistência à compressão axial.</i>	45
<i>Tabela 13 – Tabela de comparação com estudos anteriores.</i>	47

Resumo

Ante o cenário atual da sociedade, onde uma grande quantidade de resíduos é gerada todos os dias, faz-se necessária a busca por métodos de reutilização, destinados a evitar danos ao meio ambiente ocasionado pelo descarte inadequado desses resíduos. Nessa dissertação, demonstrou-se a utilização do resíduo *Grits*, gerado na indústria de celulose, na produção de um emplastro de gesso, como forma de efetivar esses métodos de reutilização, diminuindo significativamente os impactos ambientais causados não só pela inadequação da forma de descarte do resíduo, mas também pela extração da matéria prima para fabricação do gesso. Para tanto, o *Grits*, coletado na indústria de celulose, passou por um processo de secagem, trituração e peneiramento, sendo aplicado, posteriormente, em formulações com 15 %, 25 %, 50 % de *Grits* na mistura, para produzir e moldar o emplastro em fôrmas destinadas especificamente à realização dos ensaios como de tempo de pega, dureza, compressão, flexão, entre outros. Esses ensaios determinaram as propriedades físicas e mecânicas do emplastro nos estados fresco e endurecido. A formulação de 50 % não atingiu os parâmetros estipulados pela NBR 13207 e UNE – EN 13279. Já as amostras de 25 % e 15 % apresentaram resultados superiores a 2 MPa para o ensaio de flexão e maior que 6 MPa para o ensaio de compressão axial, mas inferiores às amostras de gesso puro. Os resultados comprovam a viabilidade da substituição parcial do gesso pelo resíduo na produção de argamassa de revestimento, como forma alternativa de reuso do resíduo, reduzindo o uso de gesso como matéria prima.

Palavras Chave: Gesso, *Grits*, Resíduo, Amostras, Emplastro.

Abstract

Given the current scenario of society, where a large amount of waste is generated without having a specific destination, it is necessary to search for methods of reuse intended to avoid damage to the ecologically balanced environment caused by the inappropriate disposal of such waste. Here, it is demonstrated the use of the *Grits* residue, generated in the cellulose industry, in the production of a plaster also made up of gypsum, as a way of effecting these reuse methods, reducing the environmental impacts caused not only by the inadequacy of the waste, but also by the extraction of gypsum. The *Grits*, collected in the pulp industry, underwent a drying, grinding and sieving process, being later applied in formulations with 15 %, 25 %, 50 % in de mix, to produce and mold the plaster in shapes specifically designed to carry out the tests such as picking time, hardness, compression, bending, among others. These assays determined the physical and mechanical properties of the plaster in the fresh and hardened states. The 50% formulation did not reach the resistance parameters stipulated by NBR 13207 and UNE – EN 13279. The 25% and 15% samples presented higher results than those required by these standards, but lower than the plaster samples pure. From what was obtained through the results achieved in the tests carried out, it was verified the viability of the partial replacement of gypsum by the residue in the production of coating mortar.

Palavras Chave: Gypsum, *Grits*, Waste, Sample, Plaster.

Sumário

1. Introdução	17
2. Revisão bibliográfica	19
2.1 Processo Kraft para produção de celulose.	19
2.1.1 Método de recuperação química – Produção do resíduo <i>Grits</i>	19
2.1.2 Classificação do resíduo <i>Grits</i> e sua composição	20
2.1.2 Produção e aplicações para o resíduo <i>Grits</i>	21
2.2 Utilizações de resíduos para fabricação de compósitos voltados à construção civil .	21
2.3 Gesso na construção civil	22
3. Materiais e Métodos	24
3.1 Resíduo <i>Grits</i>	24
3.2 Gesso	25
3.3 Formulações	25
3.4 Preparação dos corpos de prova	26
3.5 Caracterização	28
3.5.1 MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura	29
3.5.2 Fluorescência de Raios X	29
3.5.3 Tempo de pega	29
3.5.4 Densidade Volumétrica	30
3.5.5 Dureza Superficial	30
3.5.6 Resistência à compressão	31
3.5.7 Resistência à flexão	31
3.5.8 Resistência à compressão axial	31
3.5.9 Microscopia óptica	31
3.5.10 Ensaio de condutividade térmica	32
3.5.11 Espectroscopia FT-IR modo ATR	33
4. Resultados e Discussões	34

4.1	Caracterizações do resíduo <i>Grits</i>	34
4.1.1	Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV) do resíduo.....	34
4.1.2	Fluorescência de Raios X	35
4.2	Análise de Compósitos Gesso/ <i>Grits</i>	36
4.2.1	Tempo de endurecimento	36
4.2.2	Densidade volumétrica	37
4.2.3	Microscopia Eletrônica de varredura dos compósitos	38
4.2.4	Dureza superficial	39
4.2.5	Resistência à compressão	40
4.2.6	Resistência à flexão	41
4.2.7	Resistência à compressão axial.....	42
4.2.8	Microscopia óptica.....	44
4.2.10	Ensaio de condutividade térmica	45
4.2.11	Espectroscopia FT-IR modo ATR.....	46
4.2.12	Comparação com estudos anteriores	47
5.	Conclusão.....	48
6.	Referências	49

1. Introdução

No Brasil, a Lei nº 12.305/10, que define a Política Nacional de Resíduos Sólidos, traz um conjunto de diretrizes e ações direcionadas ao gerenciamento adequado de resíduos. Essas diretrizes visam novas rotas de reciclagem e reaproveitamento a fim de evitar o descarte inapropriado e contaminação ambiental. Desse modo, empresas que buscam excelência de mercado devem gestar projetos sustentáveis agregando valores aos rejeitos de produção. Acerca dos resíduos, a Organização Mundial de Saúde (OMS) os define como “algo que o proprietário não cobiça mais”, sendo a exteriorização mais visível e palpável dos riscos ambientais.

Nesse contexto, inúmeros estudos visando o reaproveitamento dos resíduos foram realizados, aplicados como fonte de geração de energia [1], onde a biomassa de cana de açúcar é queimada, como matéria prima para produtos derivados, como telhas geopoliméricas que utilizam resíduo de vidro [2], fabricação de blocos de concreto para pavimentação contendo resíduos de borracha como substituto parcial dos agregados miúdos [3] e implementação de reforço estrutural em pavimentações de estradas florestais utilizando resíduos provenientes da indústria de celulose [4]. Outros resíduos orgânicos e industriais como cinzas do bagaço da cana [5], resíduos de curtume (couro) [6], fibra de coco, cinza da casca do arroz [7] e borracha de pneu [8] têm sido utilizados como carga em compósitos.

A iniciativa de dar uma nova finalidade e aplicação para os resíduos atinge diretamente a construção civil, onde tem se tornado frequente a incorporação de resíduos em pasta de gesso. Pesquisas reportam o uso de fibras de abacá [9], escória de aço [10], estudo das propriedades térmicas e mecânicas do gesso com poliestireno expandido [11], resíduo de cerâmica vermelha no gesso aplicado para revestimento de paredes [12,13], além do uso de resíduos de madeira no gesso com objetivo de melhorar propriedades térmicas e acústicas [14].

Nos últimos 10 anos, a produção de celulose cresceu consideravelmente. Só no Brasil, o montante produzido cresceu de 12,697 (2008) para 21,085 milhões de toneladas, em 2018 [15]. Assim, estimando-se que a cada tonelada de celulose produzida, 12 Kg de resíduo *Grits* são gerados [16], cerca de 253.020 toneladas de *Grits* teriam sido produzidas apenas no ano de 2018.

O resíduo *Grits* é um resíduo sólido e não biodegradável, com característica arenosa e coloração acinzentada, possuindo grande concentração de cálcio em sua composição, predominantemente na forma de óxido de cálcio. Além disso, ainda é possível encontrar sódio, magnésio, manganês, silício, potássio, cromo, cobre e níquel em concentrações

menores [17], classificado pela Norma Brasileira – NBR 1004 como classe II – A, como não inerte e não perigoso [18].

Por não ser inerte, isto é, podendo reagir com o meio ambiente, a disposição do resíduo *Grits* deve ser realizada em aterros controlados. No entanto, esse procedimento gera custos relativamente altos devido ao tratamento, transporte, local para disposição e monitoramento contínuo do depósito [19].

Estudos recentes utilizaram o *Grits* como agregado na produção de argamassa [20], agregado para produção de concreto [21], e substituto parcial na fabricação de azulejos de paredes [22], visando obtenção de créditos de carbono, além de possuir baixo custo, contribuindo para redução do impacto ambiental e para uma construção mais sustentável.

Nesta dissertação, propõe-se utilizar o resíduo *Grits*, gerado na indústria de celulose, para produzir um emplastro de gesso. Serão testadas proporções de 15, 25, 50 % de *Grits* na formulação, sendo então o gesso substituído parcialmente pelo resíduo, com a finalidade de se obter a maior concentração possível de resíduo, atingir os parâmetros exigidos pelas normas vigentes e, viabilizar uma alternativa de reuso para o resíduo *Grits*.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Processo Kraft para produção de celulose.

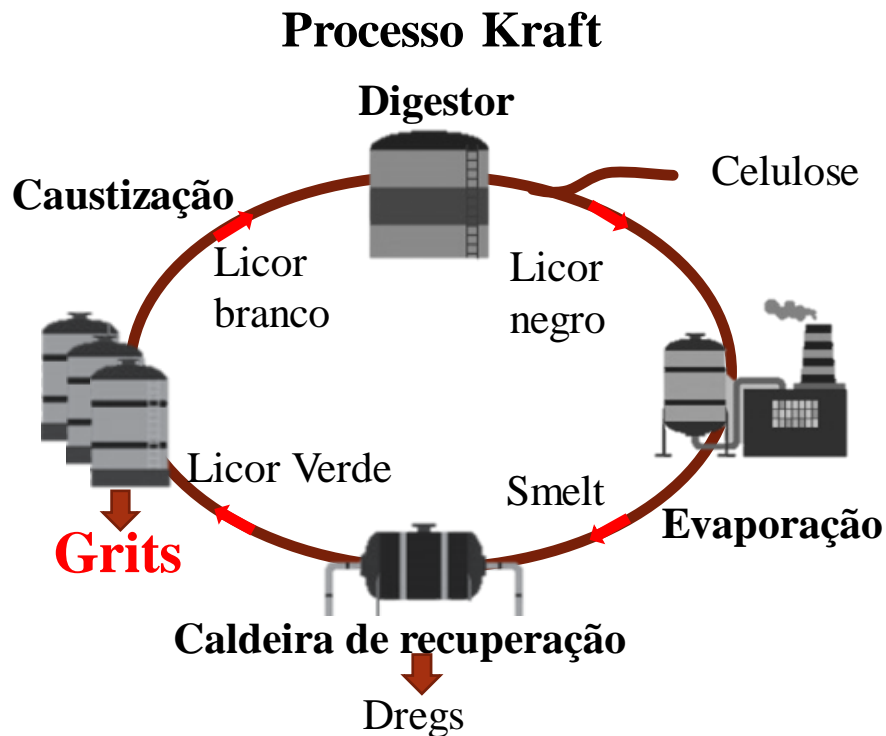


Figura 1 – Processo Kraft

Fonte: *Próprio autor*

O processo mais utilizado na produção de celulose é o Kraft, pois permite a recuperação quase completa dos reagentes empregados e também é autossuficiente no âmbito energético, através da produção de vapor para geração de energia elétrica [23].

O processo se inicia através de um digestor, que é alimentado com cavacos de madeira sem casca e uma solução denominada licor branco com a combinação de (NaOH – hidróxido de sódio e Na₂S – sulfeto de sódio). O licor branco tem como função converter a madeira em polpa celulósica. Nesse processo acontece a separação das fibras da madeira, a dissolução da lignina e a geração do licor negro.[2324]

2.1.1 Método de recuperação química – Produção do resíduo *Grits*

Dentro do processo Kraft são implementadas técnicas de recuperação química do licor negro, depois da obtenção da celulose, que darão origem novamente ao licor branco. O licor negro é tratado para que a maior parte da água evapore e em seguida é queimado na caldeira de recuperação. Nesse processo de queima há a geração de energia [24] e ocorre a conversão dos elementos ligados ao sódio (Na) em carbonato de sódio (Na₂CO₃).

O conjunto de sais minerais provenientes dessa queima é denominado *smelt*, que diluído em solução aquosa dá origem ao licor verde, composto de carbonato de sódio (Na_2CO_3) e sulfeto de sódio (Na_2S). O *smelt* é submetido a decantação para remoção das impurezas. Essas impurezas são chamadas *Dregs* [24].

A filtragem por decantação dá origem ao licor verde clarificado, que é bombeado para um tanque denominado extintor de cal, onde será dosada a cal que dará origem ao licor branco novamente. A cal, que não reage com o licor verde, é retirada do tanque gerando, então, o *Grits* [24].

2.1.2 Classificação do resíduo *Grits* e sua composição

A classificação de resíduos sólidos é dada pela norma ABNT NBR 10004/04 e é definida pelo grau de risco que cada resíduo oferece ao meio ambiente e a saúde pública. São divididos em dois grupos: perigosos e não perigosos. A partir dessa especificação, o resíduo *Grits* está contido na classe IIA, não perigoso e não inerte, isto é, reage com o meio ambiente [25].

Os principais componentes presentes no resíduo *Grits* estão listados na Tabela 1

Tabela 1 - Referências de composição do resíduo *Grits*.

Componentes	Referências			
	Rodrigues [26]	Mymrin [27]	Siqueira [16]	Ribeiro [28]
CaO	53,30	50,8	68,67	44,10
Na₂O	1,10	4,5	-	8,56
MgO	0,56	0,3	-	1,24
SiO₂	0,34	3,5	-	2,42
Al₂O₃	0,15	0,5	-	2,28
P₂O₅	0,29	0,5	-	0,14
Fe₂O₃	0,07	0,4	-	0,19
Cr₂O₃	<0,1	-	-	-
MnO	0,16	-	-	0,02
K₂O	0,06	0,3	1,04	0,65
SrO	0,19	-	0,16	0,21
BaO	<0,1	-	-	-
Co₂O₃	<0,1	-	-	-
PbO	<0,1	-	-	-
ZnO	<0,1	-	-	-
ZrO₂+HfO₂	<0,1	-	0,01	-
TiO₂	<0,05	-	-	-
SO₃	-	1,7	1,04	2,50
Perda ao fogo	43,3	37,6	29,08	37,5

Estudos reportam que o resíduo *Grits* possui majoritariamente cálcio em sua composição, principalmente na forma de óxido além de pequenas porcentagens de sódio, silício, enxofre. De acordo com a região onde foi coletado o resíduo, tipo de processo e coleta, pode haver variação dos componentes [29].

2.1.2 Produção e aplicações para o resíduo *Grits*

Em 2018 foram produzidas 20,085 milhões de toneladas de celulose [15]. Segundo Ribeiro, para cada tonelada de celulose produzida, 12 kg de *Grits* são gerados [16]. Sendo assim, no ano de 2018, obteve-se aproximadamente 253.020 toneladas de *Grits*.

Em virtude da grande quantidade de resíduo produzida anualmente, estudos visam utilizar o resíduo *Grits* para diversas aplicações. Sabe-se da utilização do resíduo para neutralizar e corrigir a acidez do solo, podendo substituir o calcário, pois possui característica alcalina em sua composição [30, 31].

A construção de estradas florestais com aplicação do *Grits* na camada de sub-base, também é exemplo de possibilidade de aplicação. Este estudo comprova que até 20% de resíduo na mistura solo-*Grits* provoca um melhoramento quanto a granulometria, resistência e expansão [4].

Outra aplicação é o uso do resíduo em misturas betuminosas, concluindo que o *Grits poderia ter sido testado* como substituinte dos agregados graúdos (brita) sem nenhum tratamento prévio. Demonstrou-se que a substituição pelo resíduo na mistura asfáltica pode ser testada em escala industrial [32].

O *Grits* pode ainda ser utilizado como matéria prima alternativa para desenvolver cerâmica vermelha e cimentantes. Por esse estudo, constatou-se que o resíduo pode servir como fonte de carbonato de cálcio para produção de cimento. No entanto, diante da elevada perda de massa quando levado ao fogo, há uma limitação da utilização do resíduo para produção de materiais cerâmicos, a fim de que não ocorra a diminuição das propriedades mecânicas [27].

2.2 Utilizações de resíduos para fabricação de compósitos voltados à construção civil

Atualmente, grande parte das pesquisas na área de reaproveitamento de resíduos está voltada para incorporação destes resíduos na composição de materiais para indústria civil.

Um exemplo é a aplicação de resíduos de vidro, como material de enchimento para fabricação de placas de bancada. Constata-se boas propriedades mecânicas, resistência a

decomposição térmica e alta impermeabilidade [33]. Quando utilizado como substituto dos agregados miúdos para fabricação de telhas, o resíduo de vidro apresenta resultados que tornam viável a reprodução em escala industrial [2].

A utilização de resíduos plásticos de PVC também é encontrada na fabricação de argamassa, substituindo parcialmente a areia pelo resíduo triturado. Traços deste material mostraram-se aplicáveis como reboco e para pavimentação [34].

Além disso, cita-se o uso de resíduos de tijolos provenientes da construção civil, como substituto parcial do cimento na argamassa. Nesse processo, cerca de 20% de cimento pode ser substituído pelo resíduo de cerâmica, cuja finalidade de aplicação está voltada para questão ambiental, uma vez que, com essa substituição, a resistência da argamassa diminui [35].

Na reutilização da areia de fundição proveniente da fabricação de peças de motores para produção de concreto. Constata-se que é possível substituir cerca de 30% do cimento pela areia, mantendo boa resistência a ataques de sulfato e ácido sulfúrico, porém diminuindo resistência compressão com o aumento na quantidade de resíduo [36].

2.3 Gesso na construção civil

O gesso é obtido através do processo de desidratação da gipsita a uma determinada temperatura e pressão e é composto, em sua grande parte, por hemi-hidrato de sulfato de cálcio [37]. O principal dano ambiental causado pelo gesso se dá na fase de sua mineração, quando ocorre o desmatamento de áreas verdes e a poluição do ar. Esse processo é denominado de capeamento [38]. O país possui a maior reserva de gipsita mundial, no entanto sua produção representa apenas 1,4% da produção mundial [39].

Desde outrora, o gesso tem sido utilizado como material de acabamento na construção civil, em razão do seu ótimo desempenho, fácil aplicação e excelente acabamento, tornando-se um material popular para tais aplicações [40]. Atualmente, o gesso vem sendo utilizado para vários tipos de aplicações, sendo as principais delas a fabricação de placas de Drywall e revestimentos de parede utilizando o gesso como argamassa [41]. Anualmente, são geradas 80 milhões de toneladas de resíduo de gesso, porém apenas 15 milhões são descartadas em aterros sanitários, enquanto o restante é depositado em locais irregulares [42].

A grande quantidade de resíduo vem atraindo a atenção dos pesquisadores para o estudo da reciclagem dos resíduos de gesso [43]. Há estudos que mostram aplicações para os resíduos de gesso proveniente das placas de Drywall, voltadas para agricultura, produção de fertilizantes, processos de compostagem, indústria de cimento e até mesmo para fabricar

novas placas de Drywall [44].

Outras pesquisas abordam utilização de resíduos para fabricar painéis de paredes, com uma ampla variedade de materiais, tais como painéis utilizando podas de árvores [45], aparas de EVA [46], resíduos de bambu [47], fibras de bananeira [48].

Nos últimos anos, inúmeros trabalhos voltados à otimização do emplastro de gesso foram realizados. Um deles incorporou resíduos de cerâmica e comprovou a possibilidade de se utilizar resíduo de cerâmica vermelha no gesso, aumentando as propriedades mecânicas em relação à amostra de referência e melhorando a resistência à água [48].

A escoria de aço, proveniente da indústria siderúrgica, mesmo com baixo percentual de substituição, acelerou o ganho de resistência inicial na mistura de gesso, também sugeriu um possível reaproveitamento em compósitos de gesso [49].

O resíduo da borracha de pneus [50] e resíduo de borracha de espuma de isolamento [51] demonstram boa adesão ao gesso, porém uma difícil homogeneização na mistura e o aumento da retenção de água na mistura foi evidenciada.

Já as fibras de abacá, com tratamento de superfície, demonstraram boa adesão nos compósitos, alcançando propriedades mecânicas satisfatórias para a produção de placas [52].

Até o presente momento não se encontrou, na literatura, a aplicação que visa substituir o gesso parcialmente pelo resíduo *Grits* buscando a produção do emplastro.

3. Materiais e Métodos

Neste item, serão apresentados os materiais e também a metodologia utilizada para a fabricação das amostras e reprodução dos testes.

3.1 Resíduo *Grits*

O resíduo *Grits* utilizado neste estudo é proveniente de uma indústria de celulose localizada no estado do Mato Grosso do Sul. Quando coletado, possui uma coloração mais escura devido à umidade presente, conforme a Figura 2.

Inicialmente o resíduo de *Grits* foi investigado quanto ao seu teor de umidade presente. Para tal, 500 g de uma amostra de *Grits* foi seca em estufa a 100 °C, por 24 horas, sendo observada perda de 35 g que corresponde a 7% da amostra. Desta forma, sendo significativa esta quantidade, foi tomado como procedimento padrão realizar esta etapa inicial de secagem.

Na Figura 3 tem-se uma imagem do resíduo após secagem em estufa, tendo este sido posteriormente moído (Figura 4) e peneirado (Figura 5). Assim, foi possível constatar que o resíduo em análise se enquadra na granulometria 170 *mesh*.

As Figuras abaixo apresentam o processo realizado com o resíduo desde sua coleta.



Figura 2 - Resíduo *Grits* proveniente da indústria de celulose.



Figura 3 - Resíduo *Grits* após secagem.



Figura 4 - Resíduo Grits moído.

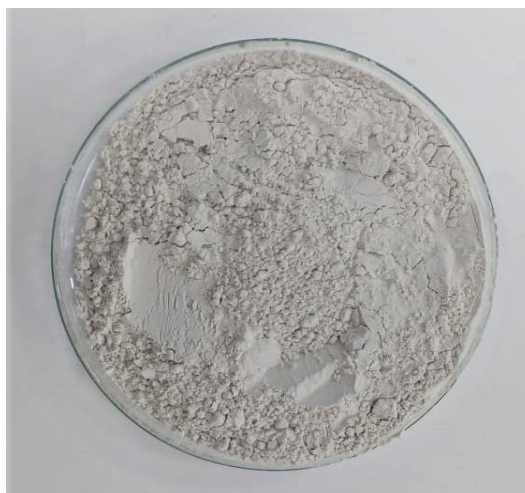


Figura 5 - Resíduo Grits após peneiramento.

3.2 Gesso

O gesso utilizado na Figura 6 é proveniente da marca Ingenor, utilizado para testar várias proporções Gesso/*Grits*.



Figura 6 – Gesso.

3.3 Formulações

As formulações testadas estão apresentadas na Tabela 2, a fim de encontrar a melhor formulação que possibilita utilizar a maior quantidade de resíduo e que alcance os parâmetros normativos. Para tanto, foram realizadas quatro formulações variando a porcentagem de resíduo no gesso.

Tabela 2 – Formulações.

Amostras Formulação	Materiais		Relação (água/mistura)
	Gesso (%)	Grits (%)	
Referência	100	0	0,55
15%	85	15	0,55
25%	75	25	0,55
50%	50	50	0,55

3.4 Preparação dos corpos de prova

Segundo Savi apud Petrucci [53], a porcentagem de água pode variar entre 50% a 70% e devem ser evitadas porcentagens superiores a 80%. Observou-se que a melhor trabalhabilidade é obtida com 0,55 água/mistura.

Primeiramente, foi homogeneizada a mistura a seco entre gesso, *Grits*, utilizando uma espátula metálica. Após uniformizar a mistura, foi adicionada água destilada e, em seguida, a pasta foi inserida nos moldes.

Na preparação da pasta foi possível notar a variação da trabalhabilidade, devido ao aumento da porcentagem de resíduo na mistura que diminuiu a fluidez da pasta, tornando possível uma variação da relação a/m, acarretando em um possível aumento nas características mecânicas, no entanto essa relação 0,55 a/m foi mantida para todas as amostras.

Foram preparadas amostras triplicadas para cada composição e período de cura, sendo 4 composições diferentes para substituição parcial no gesso, amostra referência (Gesso comercial puro) e com 15%, 25% e 50% de Grits na composição. A secagem foi avaliada no período de 7, 14, 21 e 28 dias.



Figura 7 - Forma cúbica tripla 50X50x50mm.



Figura 8 - Preparação dos Corpos de prova cúbicos.

As Figuras 7 e 8 apresentam a fôrma e a preparação da moldagem dos corpos de prova na fôrma tripla cúbica, seguindo a norma ASTM C472-99[54].



Figura 9 - Fôrma Tripla retangular 160x40x40mm.

As Figuras 9 e 10 apresentam a fôrma e a moldagem dos corpos de prova retangulares na fôrma, seguindo a norma UNE-EN 13279.

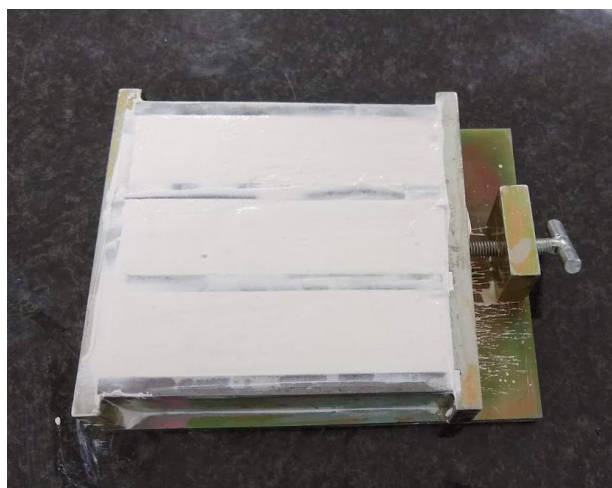


Figura 10 - Preparação dos corpos de prova retangulares.

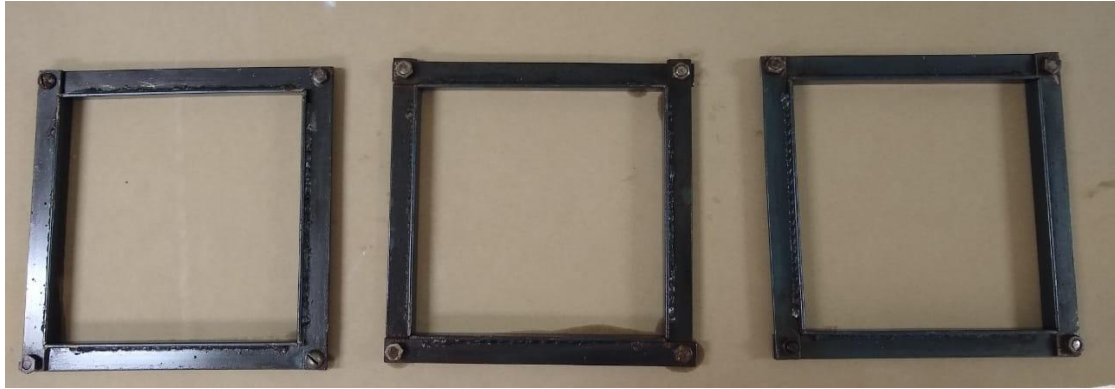


Figura 11 – Fôrma quadrada 19cm x 19cm x 2cm para fabricação das placas.

As amostras cúbicas e retangulares ficaram 2 horas nas fôrmas, sendo levadas, posteriormente, para um ambiente com umidade relativa $50 \pm 5\%$ e temperatura $25 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas.

Após o processo anterior foram inseridas em uma estufa a $45 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas e depois mantidas em dessecador contendo cloreto de cálcio até o período de teste. O procedimento de secagem das placas foi alterado e não foram inseridas no dessecador, pois suas dimensões eram superiores ao do dessecador, então foram mantidas em ambiente com temperatura de $25 \pm 5^\circ\text{C}$ e umidade de $50 \pm 5\%$.

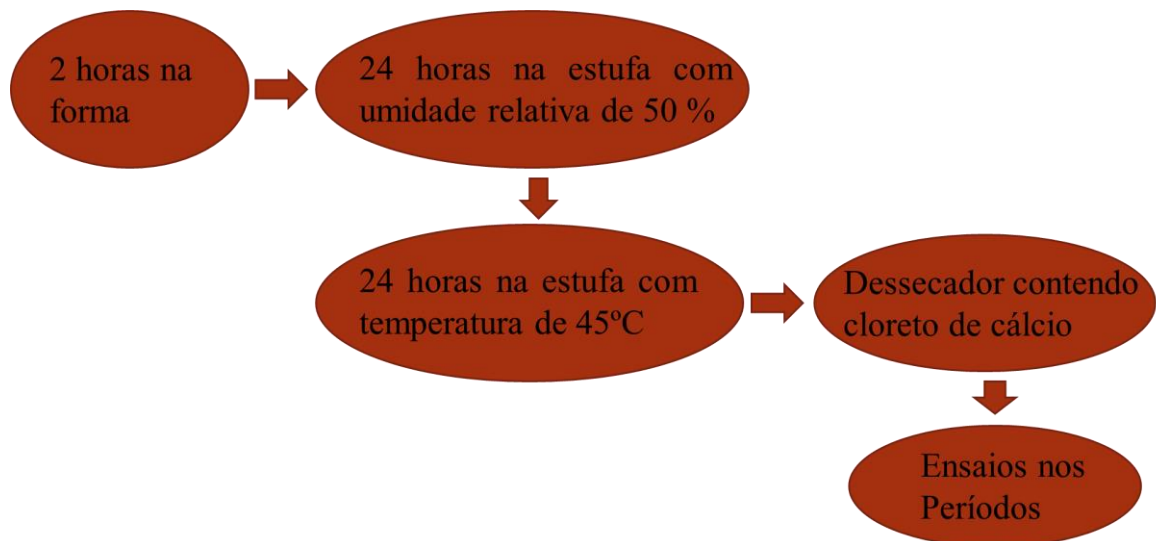


Figura 12 – Processamento das amostras.

Fonte: Próprio autor.

3.5 Caracterização

Neste item, serão apresentadas as técnicas de caracterização do resíduo e do emplastro.

3.5.1 MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

Utilizou-se a técnica de microscopia eletrônica de varredura com objetivo de analisar a forma, tamanho e dispersão das partículas do resíduo *Grits* e também sua dispersão quando incorporado no gesso. O modelo do microscópio utilizado foi Carls Zeiss-modelo LS15, na UNESP de Presidente Prudente realizada pela Glenda Gonsalves.

A amostra de resíduo *Grits* foi depositada na fita de carbono e recoberta com ouro, utilizando a técnica de deposição *sputtering*, no equipamento Quorum-modelo Q150TE.

A análise por espectroscopia de energia dispersiva – EDS foi realizada com a finalidade de revelar a composição elementar do resíduo, como acréscimo à técnica de fluorescência de Raios X.

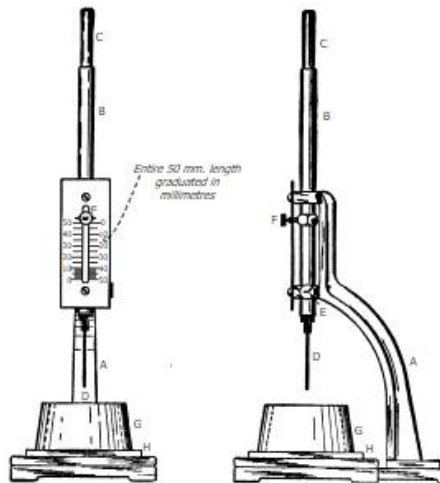
3.5.2 Fluorescência de Raios X

A técnica de fluorescência de Raios X revela as quantidades ou identidades dos elementos existentes no material, através da sua excitação e análise do espectro de emissão de raios X. O equipamento utilizado para a análise foi *Rigaku*, modelo Supermini 200, com potência de 200 W.

3.5.3 Tempo de pega

Utilizou-se a técnica tempo de pega para caracterizar o tempo de hidratação do material, ou seja, o tempo de início e fim do processo de endurecimento. Nesse ensaio, utilizou-se o aparelho Vicat disponível na UNOESTE (Universidade do Oeste Paulista), conforme as especificações da NBR 12128 [55].

A Figura 13 mostra as características do equipamento utilizado para o teste, em que são realizadas várias penetrações, de modo que a agulha não penetre duas vezes o mesmo ponto, para que não alcance o fundo da pasta.



- A – Suporte Articulado
- B – Haste de suporte do embolo
- C – Extremidade do embolo
- D – Agulha
- E – Indicador ajustável
- F – Escala modificada
- G – Anel conico rígido
- H – Placa de vidro

Figura 13 - Aparelho Vicat (Fonte: ASTM 472-99)

3.5.4 Densidade Volumétrica

Determinou-se a densidade utilizando os corpos cúbicos de aproximadamente (50x50x50) mm³ [56]. Para maior precisão, foi utilizado um paquímetro digital para medir suas dimensões e uma balança de precisão para determinar as massas. Para obter o valor da densidade foi utilizada a equação:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

ρ → Densidade (kg/m³)

m → Massa (kg)

v → Volume (m³)

3.5.5 Dureza Superficial

Seguindo a NBR 12129 [57], deve-se aplicar uma carga no centro do corpo de prova cúbico de 50N e após 2s aumentar para 500N e manter a carga por 15s. Após o tempo, é preciso retirar o corpo de prova e medir a profundidade da impressão, realizado na UNOESTE em Presidente Prudente. A dureza é dada pela seguinte fórmula:

$$D = \frac{F}{(\pi * \phi * t)}$$

D → Dureza (N/mm²)

F → Força (N)

ϕ → Diâmetro da esfera (mm)

t → Média da profundidade (mm)

3.5.6 Resistência à compressão

O teste de resistência à compressão tem por finalidade determinar a resistência à compressão do material, quando moldado nas dimensões de 50x50x50mm³, conforme a ASTM 472-99. A carga deve ser aplicada em uma razão de 50 N/s até a ruptura. O ensaio foi realizado em um equipamento da marca Contenco, modelo UMC 20T, realizado na UNOESTE em Presidente Prudente.

3.5.7 Resistência à flexão

Os corpos de prova foram moldados de acordo com a UNE-EN 13279 [58] (160x40x40) mm³ e nos respectivos dias de ensaio foram colocados na prensa sobre os apoios a uma distância de 100 mm, bem como aplicado uma carga de 50 N/s até o rompimento. O ensaio foi realizado em uma prensa da marca Instron modelo EMIC 23 – 100, disponível na TOLEDO em Presidente Prudente.

A Resistência à flexão é calculada pela equação:

$$R_f = \frac{1,5 * F_f * L}{40^3}$$

R_f → É a resistência na flexão em MPa;

F_f → É a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N;

L → Distância entre os apoios, em mm

3.5.8 Resistência à compressão axial

Para realizar os testes de compressão axial foi utilizado as metades dos corpos de prova resultantes do ensaio de flexão, aplicando uma carga de (500 ± 50) N/s, conforme a UNE-EN 13279. O ensaio foi realizado em uma prensa da marca Instron modelo EMIC 23 – 100, disponível na TOLEDO em Presidente Prudente.

3.5.9 Microscopia óptica

Utilizou-se a técnica para analisar a superfície dos compósitos de 21 e 28 dias. Realizada em um microscópio modelo Stereo Microscopio Zeiss Discovery V.12, disponível no laboratório de física em Presidente Prudente, realizado por Murilo Azevedo.

3.5.10 Ensaio de condutividade térmica

A análise da condutividade térmica do compósito de gesso e resíduo foi realizada em placas de 190mmx190mmx20mm. O corpo de prova de referência em gesso elaborado para a pesquisa sem a adição de resíduos também tem 20mm de espessura.

O procedimento de obtenção da condutividade térmica está fundamentado na análise da temperatura que passa pelo corpo de prova mediante a aplicação de um fluxo de calor conhecido segundo a ASTM C518/2017 [59], experimento também conhecido como análise de fluxo de calor em placas quente/fria, calibrado para um aparato que segue as sugestões da ASTM C1363/2019 [60].

O aparato utilizado disponível na Unesp de Presidente Prudente com o Professor Doutor Fernando Okimoto se trata de uma câmara isolada dividida pelo corpo de prova e duas câmaras distintas, em que uma delas tem a fonte de calor e ambas são instrumentadas com termopares para leituras dos fluxos de calor ao longo das subcâmaras (figura 14).

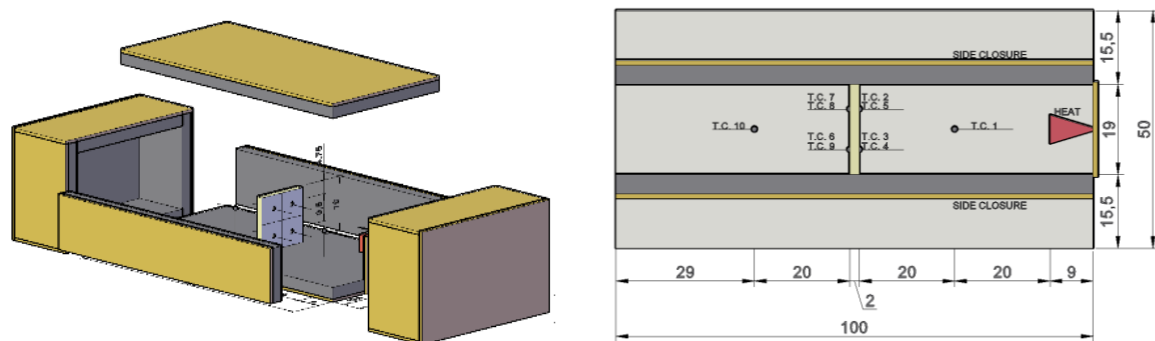


Figura 14 – Aparato para Ensaio Térmico. Adaptado da ASTM C518/17 e da ASTM C1363/19.

Os corpos de prova foram instrumentados com 4 termopares de cada lado, nos centroides dos seus 4 quadrantes e foi colocado um termopar entre a fonte de calor e o corpo de prova e outro termopar equidistante do corpo de prova, mas na outra subcâmara. Com essa instrumentação, foi possível obter o fluxo de calor, desde a geração, até depois da passagem pelo corpo de prova.

O aparato foi calibrado com uma amostra cuja condutividade térmica foi obtida pelo ensaio definido pela ASTM C518/2017. A partir desse valor, ficou estabelecida as perdas de calor do aparato e o fluxo de calor que passa pelos corpos de prova submetidos ao experimento. A calibração mostrou que o calor que chega no corpo de prova é de $\alpha_{ef} = 10,98\%$ do emitido, tendo o restante se perdido na trajetória. Assim, a formula a seguir pode ser aplicada.

$$Q_{apl} = Q_g \cdot \alpha_{ef} = \lambda_{mat} \cdot S_{esp} \cdot \frac{\Delta T}{e_{esp}},$$

Onde:

Q_{apl} → calor aplicado;

Q_g → calor gerado;

α_{ef} → calor aplicado;

λ_{mat} → condutividade térmica do material;

S_{esp} → área do corpo de prova;

ΔT → Diferença de Temperatura nas faces do Corpo de prova;

e_{esp} → espessura do corpo de prova.

No ensaio conduzido:

$$Q_{apl} = Q_g \cdot \alpha_{ef} = \lambda_{mat} \cdot S_{esp} \cdot \frac{\Delta T}{e_{esp}},$$

$$Q_{apl} = [40 \cdot 0,94] \cdot 0,1098 = \lambda_{mat} \cdot [0,19m]^2 \cdot \frac{\Delta T}{e_{esp}},$$

$$\lambda_{mat} = \frac{[40 \cdot 0,94] \cdot 0,1098 \cdot e_{esp}}{[0,19m]^2 \cdot \Delta T}$$

$Q_g \rightarrow 40W \cdot 0,94^* = 37,6W$, onde 0,94 é o rendimento da lâmpada;

$\alpha_{ef} \rightarrow 0,1098$, 10,98% de eficiência;

λ_{mat} → condutividade térmica do material desejada;

$S_{esp} \rightarrow 0,19 \cdot 0,19 = 0,0361m^2 =$ área do corpo de prova;

ΔT → Diferença de Temperatura obtidas nas faces de cada Corpo de prova;

$e_{esp} \rightarrow 0,01m$ ou $0,02m =$ espessura do corpo de prova 1cm ou 2cm, dependendo do ensaio.

3.5.11 Espectroscopia FT-IR modo ATR

A espectroscopia FT-IR foi realizada com o objetivo de avaliar a composição orgânica do resíduo *Grits* e dos compósitos de gesso e *Grits* e as mudanças estruturais nos compósitos, devido à incorporação do resíduo. As Medidas de espectroscopia por FT-IR foram realizadas utilizando um espectrômetro da marca Bruker, modelo Vetor22, com número de onda que percorre o intervalo de 500 - 4000 cm^{-1} , com 4 cm^{-1} de resolução

espectral e um detector DTGS de 32 de *scans*, operando no modo ATR (Refletância Total Atenuada).

4. Resultados e Discussões

4.1 Caracterizações do resíduo *Grits*

4.1.1 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV) do resíduo

Após coletado, peneirado e seco, o resíduo *Grits* teve a sua composição avaliada. Na Figura 15 a) e b) é observada a morfologia do resíduo, que apresenta partículas com diversos tamanhos e superfície irregular.

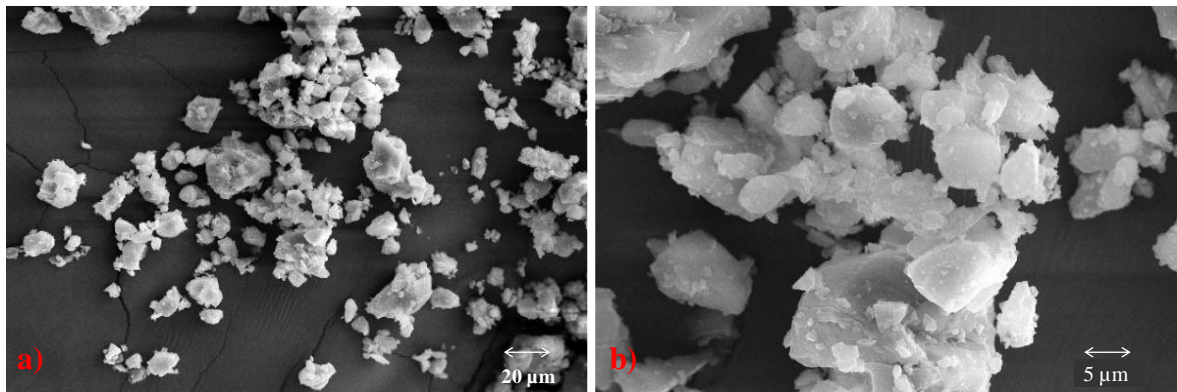


Figura 15 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) do resíduo *Grits* a) 1000X, b) 4000X.

Na Figura 16 apresenta-se a distribuição de tamanhos, medidos a partir das imagens de MEV, variando de 1 μm a 53 μm . Foi aplicada a distribuição de Cauchy-Lorentz para observar o pico de distribuição que indica a frequência média correspondente. A estimativa para o diâmetro médio em maior frequência foi entre 4 μm e 23 μm . Diferentes tamanhos de partículas de resíduos são usados como cargas, como pó de cascas trituradas com diâmetro médio de 0,479 μm [61], resíduos de cerâmica com partículas maiores que 0,149 mm e partículas de borracha de 4 a 6 mm [48]. O reforço é mais evidente quando utiliza-se partículas com tamanhos menores, uma vez que substitui melhor a partícula de gesso ou se tornou um aglomerado para crescer, o que conseqüentemente aumenta o efeito de reforço.

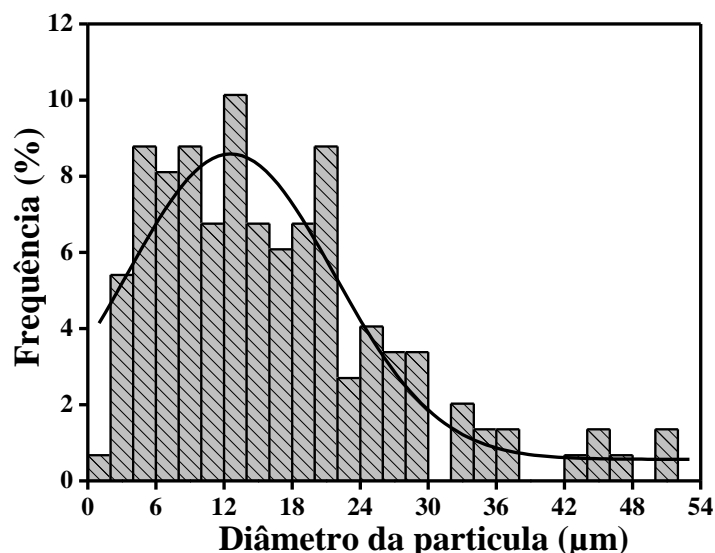


Figura 16 – Distribuição de partículas do resíduo.

A Figura 17 mostra o espectro de EDS que demonstra a presença de 46,67% de carbono, 42,24% de oxigênio, 0,38% de sódio, 0,18% de magnésio, 0,08% de silício, 0,25% de potássio e 10,2% de cálcio que está presente também na composição do gesso.

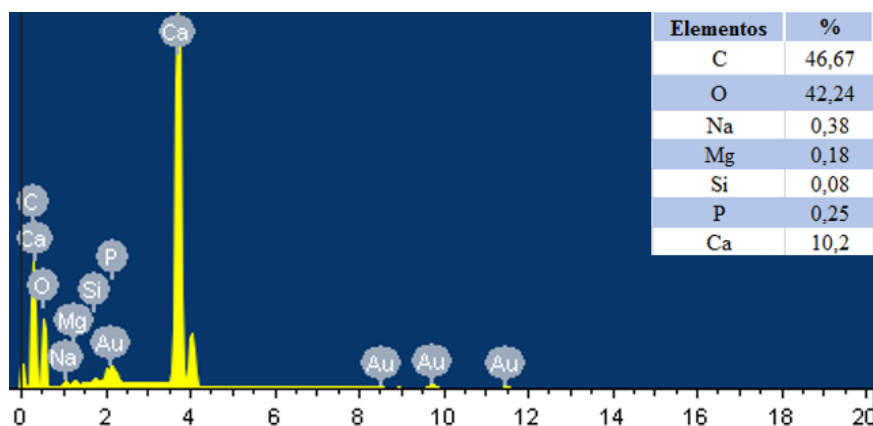


Figura 17 – Espectro de EDS do resíduo Grits.

4.1.2 Fluorescência de Raios X

Pode-se observar na Tabela 3 a composição inorgânica do resíduo *Grits* realizada por fluorescência de Raios X. Predomina a composição de cálcio, que dos 10% em massa obtidos através da espectroscopia EDS, estima-se que cerca de 95,6% esteja na forma de óxido de cálcio (CaO), atribuído ao processo de recuperação do licor branco na indústria de celulose. A presença dos óxidos de silício, magnésio, ferro e enxofre pode ser atribuída aos sais de reposição utilizados durante o processo de produção de celulose e a corrosão dos digestores e materiais refratários da caldeira [62].

Tabela 3 - Composição determinada por fluorescência de Raio X.

Composição do resíduo (% wt)										
Na ₂ O	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl	SrO
0,61	0,16	1,19	0,42	0,09	95,6	0,05	0,3	0,68	0,05	0,61

4.2 Análise de Compósitos Gesso/Grits

4.2.1 Tempo de endurecimento

Segundo a NBR 13207 [63], que estipula o tempo mínimo para o início e máximo para o final de pega, a pasta pode ser classificada conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação para início e fim de pega.

Classificação do gesso	Tempo de pega (min)	
	Início	Fim
Gesso para revestimento (sem aditivos)	≥ 10	≥ 35
Gesso para revestimento (com aditivos)	≥ 4	≥ 50
Gesso para fundição	≤ 10	≤ 20



Figura 18 - Realização do teste de Vicat.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos no ensaio com Vicat. Observa-se que as amostras 15% e 25% podem ser classificadas como gesso para revestimento, pois seus inícios e finais de pega estão entre os estipulados pela norma. A amostra 50/50 não se

enquadra nos requisitos da norma, pois seu tempo de final de pega é inferior a 35 min.

Tabela 5 - Resultados obtidos de início e fim de pega.

Tempo de pega		
Formulação	Início (min)	Fim (min)
Referência	33:16	47:05
15%	23:30	38:07
25%	22:50	35:52
50%	19:10	30:23

Ao analisar a Tabela 5 nota-se que o tempo de pega da pasta vai diminuindo com o aumento da porcentagem de resíduo. Em virtude de ser utilizada a mesma relação de água para todas amostras, justifica-se que a diminuição do tempo de pega é provocada pelo resíduo *Grits*. Devido a pequena granulometria, e, portanto, uma grande área de superfície específica, melhor é a interação das partículas com a água, diminuindo a fluidez da mistura e, conseqüentemente, seu processo de endurecimento é acelerado [64].

4.2.2 Densidade volumétrica

A densidade foi calculada utilizando as amostras fabricadas na fôrma tripla cúbica após o processo de cura, relatando, assim, a variação do peso/m³ conforme a porcentagem de resíduo aumenta. A Tabela 6 expressa os resultados.

Tabela 6 – Densidade volumétrica.

Densidade (Kg/m³)				
Formulação	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Referência	1264,5	1247,3	1245	1223,3
15%	1244,2	1219,5	1214,7	1201,8
25%	1225,7	1214,8	1190,1	1174,6
50%	1199	1197,6	1125,4	1122,3

Observa-se que, conforme aumentamos a porcentagem de *Grits* na mistura, a densidade diminui. Nas amostras 15% e 25% ocorre uma redução próxima a 9,5% e 10% na densidade e na amostra de 50% a diminuição se aproxima de 11%, esta redução da densidade está relacionada a interferência na estrutura e organização dos cristais de gesso, devido a incorporação do resíduo, acarretando em um aumento no número de vazios. Além disso, é possível verificar a diminuição da densidade ao longo dos dias que está relacionada a perda de água no processo de secagem.

4.2.3 Microscopia Eletrônica de varredura dos compósitos

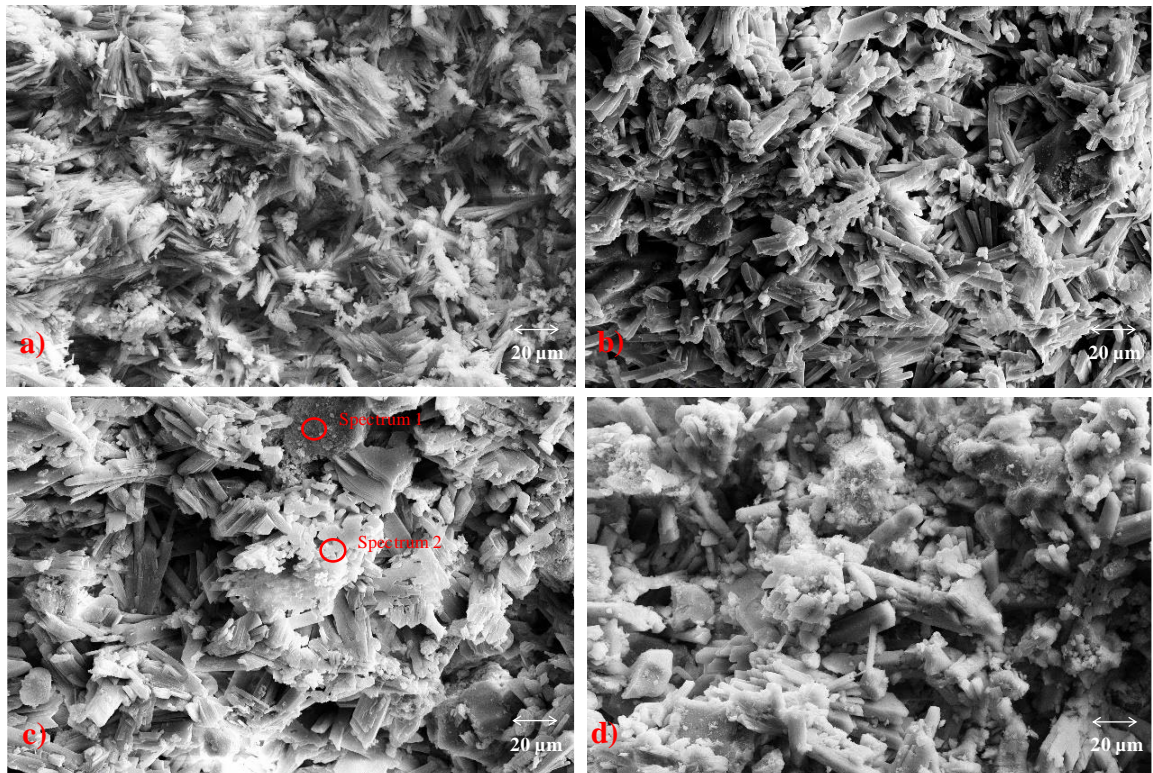


Figura 19 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos compósitos de gesso e Grits com 1000X, a) amostra de referência, b) 15% de Grits, c) 25%, d) 50%.

Observa-se na fratura da amostra pura de gesso fig. 19 a) possui uma estrutura cristalina bem entrelaçada e os cristais têm a forma de agulhas. As amostras com 15% b), 25% c) e 50% d) de *Grits* têm um aumento no tamanho e na espessura. À medida que a quantidade de resíduo na mistura aumenta, a aglomeração do resíduo também pode ser observada nas amostras de resíduo de 25% e 50%.

É identificada uma mudança na forma e tamanho da estrutura dos compósitos, que com o aumento da proporção de resíduo causa uma desorganização dos cristais de gesso e contribui para um entrelaçamento difícil dos cristais, aumentando o número de vazios e reduzindo as propriedades mecânicas e a densidade. Essas alterações nas configurações estruturais são atribuídas ao *Grits*, que pode ser considerado como uma carga de enchimento na mistura.

Na Figura 19 c) foi realizado o EDS em dois pontos, a Tabela 7 comprova que o espectro 1 está localizado sobre um aglomerado de resíduo e o espectro 2 sobre a fratura dos cristais de gesso.

Tabela 7 – Espectroscopia de energia dispersiva – EDS.

Espectroscopia de energia dispersiva - EDS			
Spectrum 1 (Grits)		Spectrum 2 (Gesso)	
Elementos	%	Elementos	%
C	11.42	C	6.23
O	52.85	O	44.21
Na	0.57	S	21.96
Al	0.19	Ca	27.59
Si	0.40		
Ca	34.56		

4.2.4 Dureza superficial

A Figura 20 mostra a execução do ensaio de dureza superficial. Os resultados são apresentados na Tabela 7. A NBR 13207 determina que a amostra deve atingir a resistência de, no mínimo, 20 N/mm² no ensaio de dureza superficial.

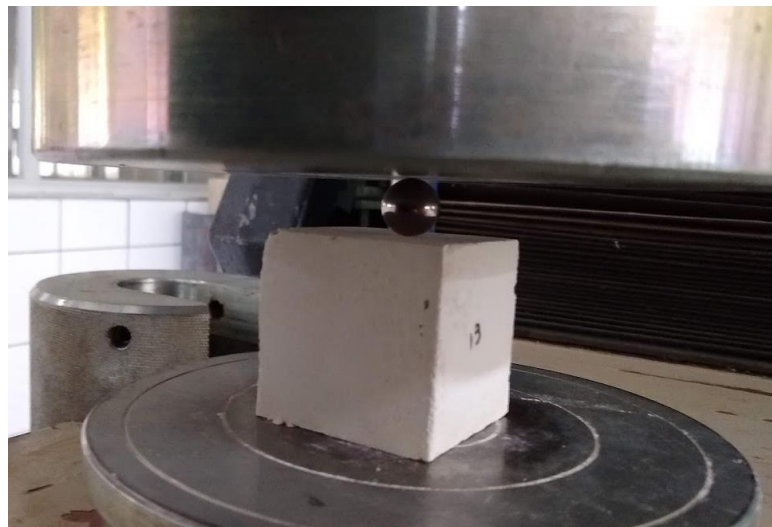


Figura 20 - Realização do ensaio de dureza superficial.

Nota-se que na Tabela 8 ocorre um acréscimo na resistência à dureza ao longo dos períodos testados. O aumento acontece devido à amostra estar sofrendo o processo de cura e hidratação (processo em que o gesso em contato com a água volta a ser um sólido cristalino). Observa-se também que as amostras 25% e 50% não atingiram o valor mínimo de 20 N/mm², por consequência da saturação de resíduo que não possui a propriedade de hidratar e adquirir resistência como ocorre no gesso. A amostra de 15% aos 28 dias atingiu valor superior à norma.

Tabela 8 - Resultado do ensaio de dureza superficial.

Dureza superficial								
Formulação	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro
Referência	13,1	0,2	17,6	1,0	20,8	2,6	31,2	2,6
15%	10,8	1,4	13,5	0,6	16,6	1,1	21,2	0,6
25%	8,4	1,1	10,3	0,3	13,4	1,3	16,2	0,2
50%	2,0	0,3	4,2	0,1	9,6	0,6	9,7	0,4

4.2.5 Resistência à compressão

O teste de resistência à compressão foi realizado utilizando os corpos de prova cúbicos e seguindo os requisitos apresentados na ASTM C28, onde a resistência à compressão deveria alcançar o mínimo de 8,3 MPa.

A Tabela 9 apresenta os valores obtidos no ensaio de compressão e demonstra um aumento de resistência até 21 dias, em que apenas a amostra de 15% de *Grits* atingiu o valor superior ao da norma. Os outros compósitos de 25% e 50% não alcançaram a resistência mínima.

A diminuição da resistência aos 28 dias pode ser observada na figura 21 e está relacionada com o surgimento de microfissuras causadas pela insuficiência de água [65]. Já a diminuição da resistência a compressão em relação a porcentagem de resíduo na mistura é dada pelo aumento do número de vazios, ocasionando a diminuição da densidade [66].

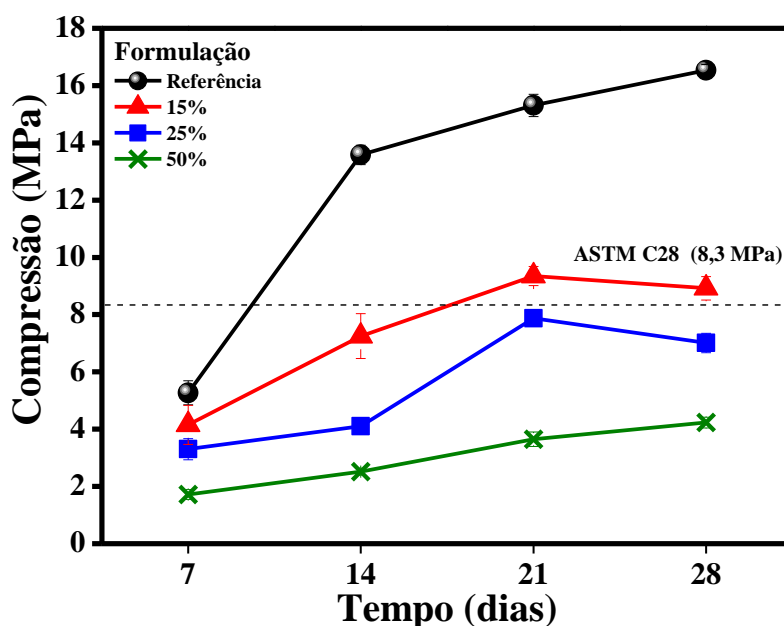


Figura 21 – Gráfico de resultados de compressão. Tabela 9 - Resultado do ensaio de Compressão

Resistência a Compressão								
Formulação	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro
Referencia	5,27	0,42	13,58	0,34	15,31	0,39	16,53	0,21
15%	4,15	0,68	7,25	0,78	9,35	0,33	8,92	0,41
25%	3,3	0,37	4,1	0,08	7,87	0,22	7,01	0,34
50%	1,72	0,17	2,52	0,12	3,65	0,25	4,23	0,19

4.2.6 Resistência à flexão

Os gessos comuns possuem uma resistência à flexão que pode variar entre 4,4 a 10,50 MPa, porém para estudos que utilizam resíduos como cargas é comum encontrar valores que variam de 0,7 a 3,5 MPa . A norma UNE-EM 13279 estipula o valor mínimo de 2,0 MPa. A Figura 22 mostra a execução do ensaio de flexão:



Figura 22 - Realização do ensaio de flexão.

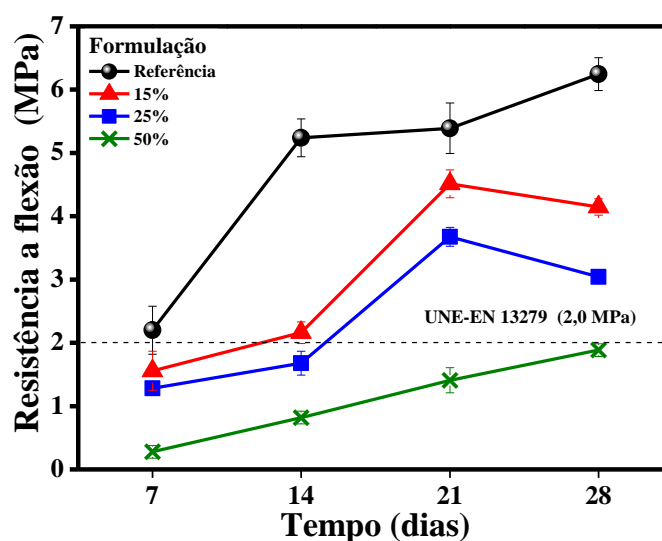


Figura 23 – Gráfico dos resultados de resistência à flexão.

Tabela 10 - Resultado do ensaio de resistência à flexão.

Resistência a Flexão								
Formulação	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro
Referência	2,2	1	5,239	0,7	5,39	0,4	6,245	1,2
15%	1,56	0,31	2,16	0,17	4,51	0,22	4,15	0,13
25%	1,28	0,1	1,68	0,19	3,68	0,15	3,04	0,1
50%	0,28	0,1	0,82	0,1	1,41	0,2	1,89	0,1

Nota-se que a resistência aumentou até 21 dias e que os valores das amostras de 15% e 25% estão superiores ao exigido pela norma. A amostra de 15% de resíduo teve uma perda de resistência de 33,5 % e amostra de 25% de resíduo diminuiu 51% em relação à amostra de referência, já o compósito com 50% de *Grits* perdeu 72% de resistência em comparação à amostra de referência e ficou abaixo do valor estipulado pela norma. A diminuição da resistência com o aumento de resíduo é devida a maior quantidade de vazios nos compósitos. O fato de as amostras perderem resistência aos 28 dias é referente ao surgimento de microfissuras, conforme já observado no ensaio anterior.

4.2.7 Resistência à compressão axial

Utilizou-se as metades dos corpos de prova ensaiados no teste de flexão para realizar o teste de compressão axial.

A norma UNE-EN 13279 exige que amostra obtenha o mínimo de 6 MPa.

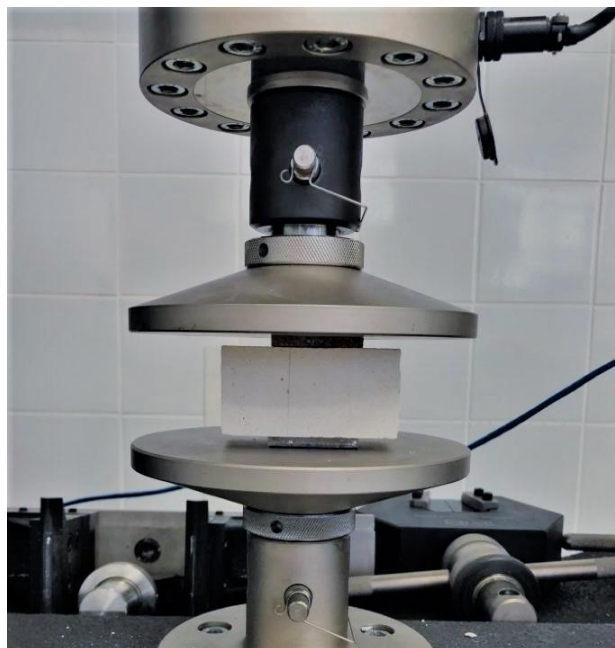


Figura 24 - Realização do ensaio de compressão axial.

Observa-se o ganho de resistência até 21 dias, aos 28 dias a diminuição da resistência, assim como nos testes anteriores a perda de resistência é causada pelo surgimento de microfissuras, bem como são exibidos os resultados referentes ao teste de compressão axial e nota-se que a amostra de 15% e 25% de resíduo aos 21 dias está dentro do exigido pela norma.

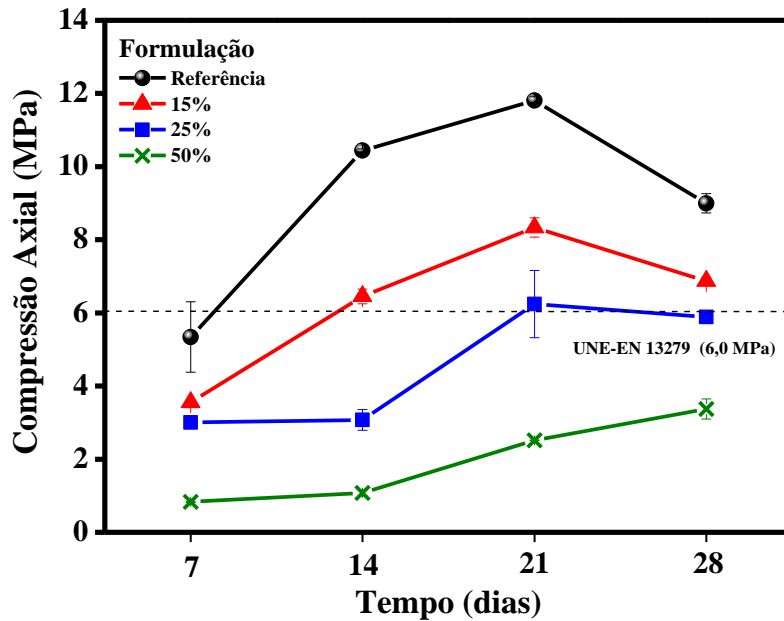


Figura 25 - Gráfico de resultados de compressão axial.

Tabela 11 - Resultados para o ensaio de resistência à compressão axial.

Resistência a Compressão Axial								
Formulação	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro	Resistência (N/mm ²)	Erro
Referência	5,34	0,96	10,44	0,04	11,81	0,11	9,00	0,26
15%	3,6	0,0	6,5	0,2	8,3	0,3	6,9	0,1
25%	3,0	0,1	3,1	0,3	6,2	0,9	5,9	0,0
50%	0,8	0,0	1,1	0,1	2,5	0,0	3,4	0,3

4.2.8 Microscopia óptica

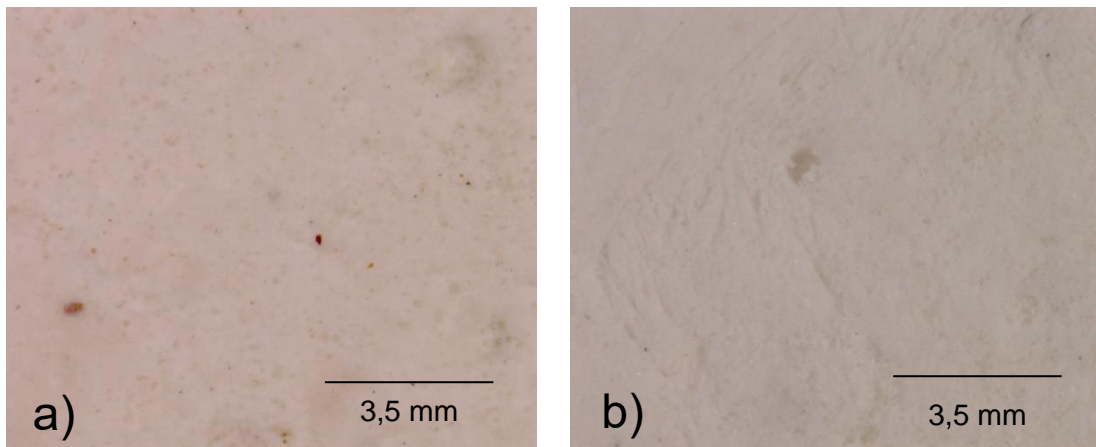


Figura 26 – Micrografias com 25X a) Amostra com 21 dias, b) Amostra com 28 dias.

Na figura 26b é possível comprovar o surgimento das microfissuras, devido ao processo de secagem dentro do dessecador contendo cloreto de cálcio. Após os 21 dias, as amostras perdem mais água que o necessário e ocasionam as microfissuras que geram a diminuição das propriedades mecânicas.

4.2.10 Ensaio de condutividade térmica

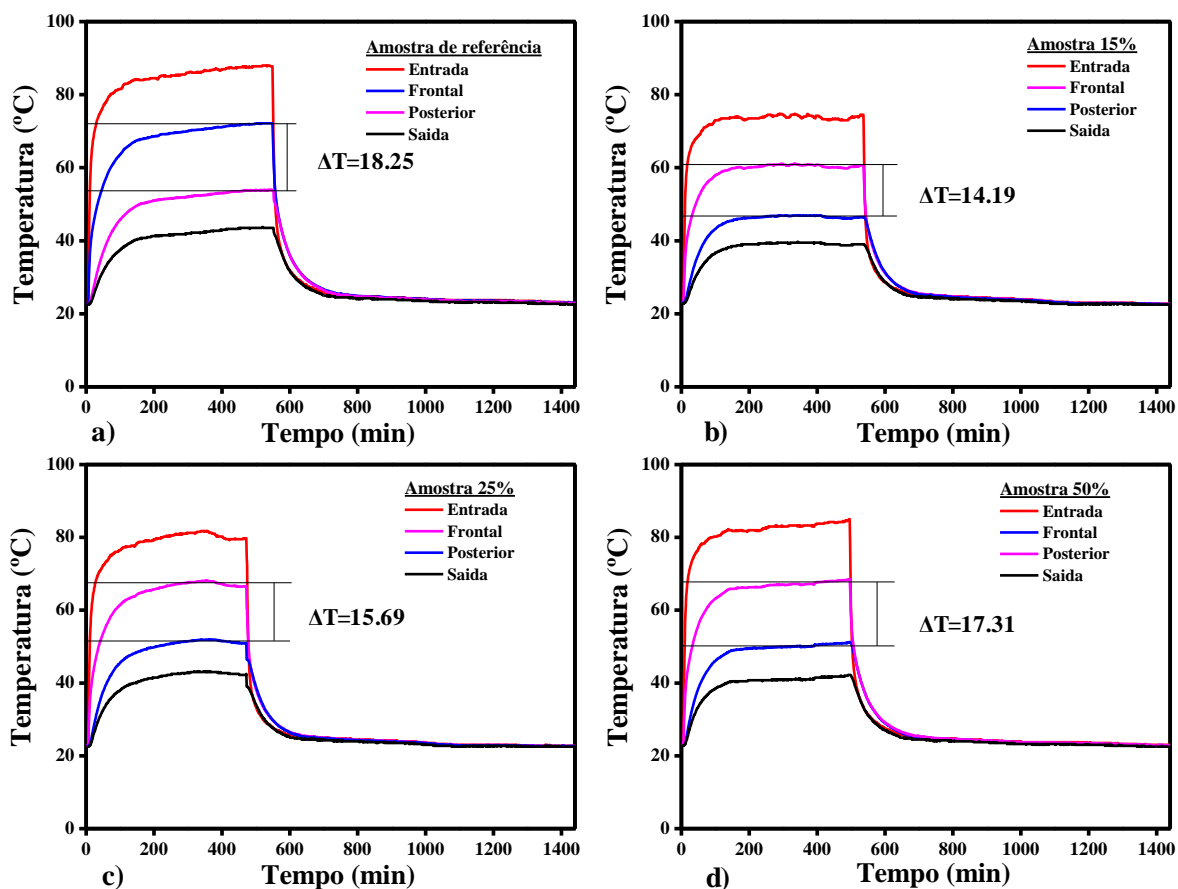


Figura 27 – Gráficos do aquecimento dos termopares: a) Referência; b) 85%; c) 75%; d) 50%.

Na Figura 27 observa-se curvas, que demonstram o aquecimento dos termopares. Com os valores de ΔT obtidos nos gráficos é possível calcular a condutividade térmica dos compósitos.

Tabela 12 - Resultados para o ensaio de resistência à compressão axial.

Formulação	ΔT	Condutividade termica (W/m.K)
Referência	18.25	0.414
15%	14.19	0.532
25%	15.69	0.481
50%	17.31	0.436

Verifica-se na Tabela 12 que a amostra de 15% de *Grits* sofre um ligeiro aumento na condutividade térmica, reduzindo para amostras de 25% e 50%. Chindaprasirt et al. [67] relatam que esse aumento pode estar relacionado à boa interconexão dos cristais e que a diminuição está relacionada às mudanças na orientação dos cristais causadas pelo aumento

da quantidade de resíduo na mistura que contribui para uma estrutura com maior número de vazios, causando uma redução na condutividade térmica do material [67].

4.2.11 Espectroscopia FT-IR modo ATR

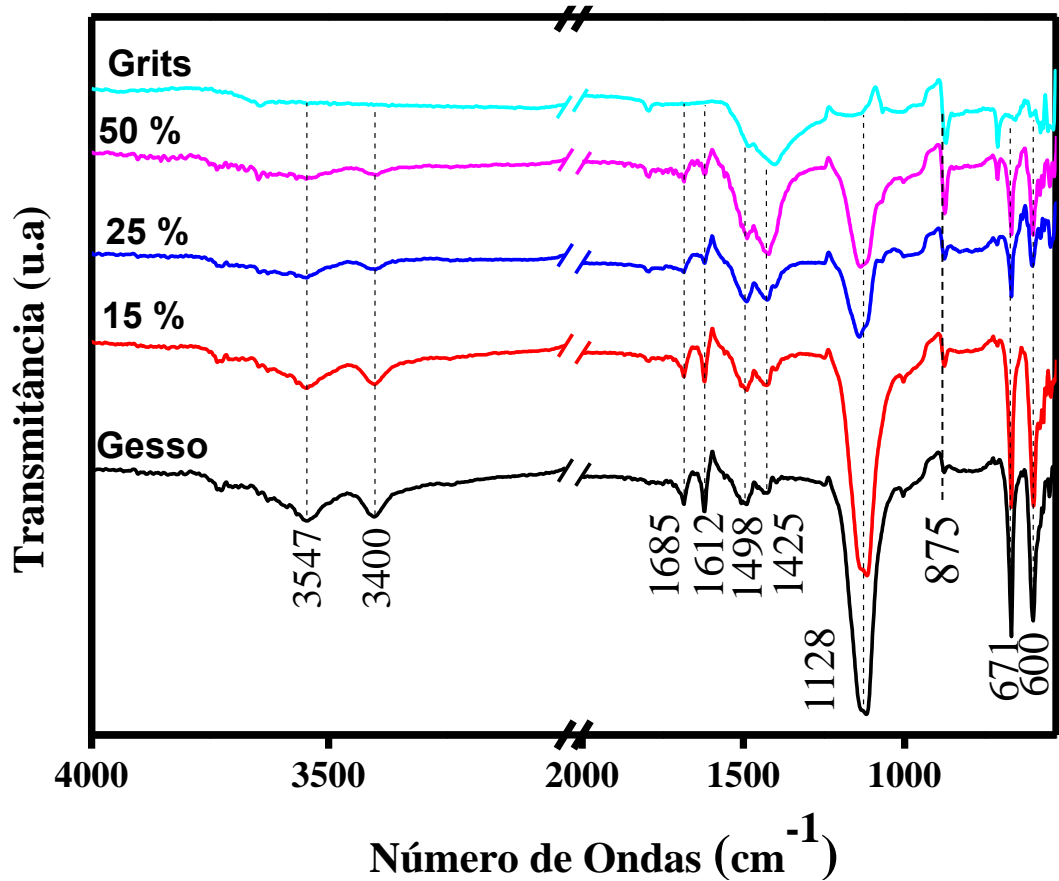


Figura 28 – Espectros no infravermelho do resíduo Grits, dos compósitos e do gesso puro.

Na Figura 28 as bandas 3547, 3400, 1687, 1612 cm^{-1} são atribuídos estiramento e deformação da molécula de água presente no gesso [68, 69]. As bandas 1498 e 1425 cm^{-1} referem-se à fase pouco cristalina da calcita do resíduo *Grits* [70, 71]. As bandas 1128, 671 e 600 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento e deformação do grupo funcional do sulfato [68], a banda de 870 cm^{-1} é atribuída a deformação do carbonato presente do gesso e no resíduo [72]. Nota-se que não há alteração nas bandas, logo conclui-se apenas interação física, que pode se atribuir à diminuição das propriedades mecânicas com o aumento da porcentagem de resíduo na mistura.

4.2.12 Comparação com estudos anteriores

Tabela 13 – Tabela de comparação com estudos anteriores.

Resíduo	%	Flexão (MPa)		Compressão (MPa)		Condutividade térmica (W/m.K)	
		Amostra	Ref.	Amostra	Ref.	Amostra	Ref.
Grits	25	3.70	5.39	6.20	11.80	0.481	0.414
Wood waste shavings (ROJAS et.al) [14]	10	2.90	3.64	6.53	9.87	0.167	0.250
wood waste sawdust (ROJAS et.al) [14]	10	3.19	3.64	6.96	9.87	0.204	0.250
Rubber (SERNA et.al) [50]	5	3.98	5.11	7.91	9.80	-	-
Abacá fibers (IOCULANO et.al) [52]	3	2.51	2.61	-	-	-	-
Oil palm trunk (SELAMAT et.al) [73]	25	2.65	2.51	-	-	-	-
Rice husk (SELAMAT et.al) [73]	25	2.38	2.51	-	-	-	-
Extruded polystyrene (GONZÁLEZ et.al) [74]	3	2.07	3.16	2.78	5.79	0.093	0.141
Peanut shells (LAMRANI et.at) [75]	5.5	2.15	3.50	-	-	0.233	0.301

A Tabela 13 compara nossos resultados com os encontrados na literatura relativos a trabalhos onde resíduos foram incorporados no composto de gesso.. A maioria dos relatos mostra diminuição da resistência à flexão em comparação com a referência de gesso. Os melhores resultados para estudos utilizando madeira [14], fibras de abacá [52], poliestireno extrudido [74] e cascas de amendoim [75] utilizaram apenas uma pequena porcentagem de substituição, atingindo no máximo 10% de resíduo. Nesse estudo, incorporamos 25% do resíduo Grits e a resposta mecânica parece ser comparável à maioria dos resíduos encontrados, atingindo resistência à flexão semelhante à relatada na borracha com 5% de reposição [50].

Avaliação de compósitos que utilizam resíduos como cargas, Tabela 12, cascas de madeira, poliestireno e amendoim demonstram melhorar a resistência térmica incorporada no gesso, atribuída principalmente a essa característica isolante. Os compósitos Gypsum /

Grits parecem atingir a condutividade térmica em torno da obtida para o gesso à medida que aumenta a quantidade de resíduo, o que valida o uso de resíduo como carga.

5. Conclusão

Nesta pesquisa, abordou-se a possibilidade da substituição parcial do gesso em diversas proporções pelo *Grits*, buscando-se um novo método para reuso do resíduo bem como obter resultados que satisfaçam às condições propostas pelas normas regulamentadoras para implementação em construção civil. Verificou-se que é possível a incorporação de resíduo *Grits* para proporções de até 25% mantendo os valores de resistência mecânica acima dos limites mínimos estabelecido nas normas.

A redução das propriedades mecânicas com o aumento da porcentagem de resíduo na mistura, se deu pelo maior número de vazios e também por acontecer apenas interação física entre o resíduo e o gesso que foi comprovado nos espectros no infravermelho; o maior número de vazios também interfere nas propriedades térmicas, sendo que as amostras de 50% quase igualaram os valores obtidos para as amostras de referência. A diminuição da densidade também foi notada e comprova que o resíduo proporciona um aumento no número de vazios dentro dos compósitos.

O estudo também apresentou as resistências em quatro períodos diferentes, mostrando que até os 21 dias as amostras adquiriram resistência, foi possível notar que, aos 28 dias, as amostras perderam resistência devido ao processo de secagem, que acarretou no surgimento de microfissuras devido a insuficiência de água no compósito.

Estudos futuros podem buscar aplicações do resíduo no gesso em placas de Drywall, de forro ou até mesmo placas apenas utilizando o próprio resíduo.

6. Referências

-
- [1] NGUYEN, T. L. T.; HERMANSEN, J. E.; SAGISAKA, M. **Fossil energy savings potential of sugar cane bio-energy systems.** Applied Energy, v.86, p.132-139, 2009.
- [2] RIVERA, J. F.; CUARÁN-CUARÁN, Z. I.; VANEGAS-BONILLA, N.; GUTIÉRREZ, R. M. **Novel use of waste glass powder: Production of geopolymeric tiles.** Advanced Powder Technology, 2018
- [3] GAMALATH, H.G.P.; WEERASINGHE, T.G.P.L.; NANAYAKKARA, S.M.A. **Use of waste rubber granules for the production of concrete paving blocks.** The 7th International Conference on Sustainable Built Environment, 2016.
- [4] MAIA, E.S.; SOUZA, M.M.; AGUIAR, M.F.P.; OLIVEIRA, F.H.L. **Estudo de melhoramento de solo com utilização de resíduo de indústria de celulose.** Rev. Tecnol. Fortaleza, v.35, n.1 e 2, p.78-88, 2014..
- [5] G. C. CORDEIRO; R. D. T. FILHO; L. M. TAVARES; E. M. R. FAIRBAIRN. **Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete.** Cement and Concrete Research, Volume 39, 110-115, 2009.
- [6] D. A. NARDINO; V. B. PAIVA; F. NUNES; J. G. SGORLON; M. C. S. GOMES; M. L. MENEZES. **Reutilização de resíduos de curtume na fabricação de blocos de concreto para pavimentação: avaliação das características do resíduo.** COBEQIC, 2015.
- [7] C.L. PEREIRA; H. SAVASTANO JR.; J. PAYÁ; S.F. SANTOS; M.V. BORRACHERO; J. MONZÓ; L. SORIANO. **Use of highly reactive rice husk ash in the production of cement matrix reinforced with green coconut fiber.** Industrial Crops and Products, V. 49, 88– 96, 2013.
- [8] F. A. S. Júnior; K. J. Jucier; L. R. I. Júnior; C.S. Alcântara. **Concreto com resíduo de borracha de pneu e brita granítica.** 22º CBECiMat – Natal – RN, 2016.
- [9] IUCOLANO, F.; CAPUTO, D.; LEBOFFE, F.; LIGUORI, B. **Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers.** Construction and Building Materials, v.99 p.184-191, 2015.
- [10] ZHAO, J.; WANG, D.; YAN, P.; ZHANG, D.; WANG, H. **Self-cementitious property of steel slag powder blended with gypsum.** Construction and Building Materials, v.113 p.835-842, 2016.
- [11] BICER, A.; KAR, F. **Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth.** Thermal Science and Engineering Progress, v.1 p.59-65, 2017.
- [12] LI, H.; DONG, L.; JIANG, Z.; YANG, X.; YANG, Z. **Study on utilization of red brick waste powder in the production of cement-based red decorative plaster for walls.** Journal of Cleaner Production, v. 133 p.1017-1026, 2016.

-
- [13] MERINO, M. D. R.; ASTORQUI, J. S. C.; SÁEZ, P. V.; JIMÉNEZ, R. S.; CORTINA, M. G. **Eco plaster mortars with addition of waste for high hardness coatings**. *Construction and Building Materials*, v.158 p.649–656, 2018.
- [14] ROJAS, M. A. P.; CONDE, M. J. M.; GALVEZ, F. P.; LIÑÁN, C. R. **Eco-efficient acoustic and thermal conditioning using false ceiling plates made from plaster and wood waste**. *Journal of Cleaner Production*, v.166 p.690-705, 2017.
- [15] INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores**, 2019.
- [16] SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F.. **Application of *Grits* waste as a renewable carbonate material in manufacturing wall tiles**. *Ceramics International*, 44, 19576–19582, 2018.
- [17] MODOLO, R.A.; BENTA, B. A.; FERREIRA, A.V.M.; MACHADO, L.M. **Pulp and paper plant wastes valorization in bituminous mixes**. *Waste Management*, v.30, p.685-696, 2010.
- [18] NBR 1004- **Resíduos sólidos** – classificação, Rio de Janeiro, 2004, 77p.
- [19] SIQUEIRA, F.B.; HOLANDA, J. N. F. **Reuse of *Grits* waste for the production of soil–cement bricks**. *Journal of Environmental Management*, v.131 p.1-6, 2013.
- [20] SAELI, M.; SENFF, L.; TOBALDI, D.M.; SEABRA M.P; LABRINCHA, J.A. **Novel biomass fly ash-based geopolymeric mortars using lime slaker *Grits* as aggregate for applications in construction: Influence of granulometry and binder/aggregate ratio**. *Construction and Building Materials*, v.227, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.08.024>.
- [21] SAELI, M.; NOVAIS, R. M.; SEABRA, M. P.; LABRINCHA, J.A. **Green geopolymeric concrete using *Grits* for applications in construction**. *Materials Letters*, v.233 p.94-97, 2018.
- [22] SIQUEIRA, F.B.; HOLANDA, J. N. F. **Application of *Grits* waste as a renewable carbonate material in manufacturing wall tiles**. *Ceramics International*, v.44 p. 19576–19582, 2018.
- [23] GOORTANI, B. M.; ESPEJEL, E. M.; PARIS, J. **Integration of a cogeneration unit into a kraft pulping process**. *Applied Thermal Engineering*, v.30, p.2724-2729, 2010.
- [24] MODOLO, R.; BENTA, A.; FERREIRA, V.M.; MACHADO, L.M. **Pulp and paper plant wastes valorisation in bituminous mixes**. *Waste Management*, v.30, p.685-696, 2010.
- [25] NBR 1004- **Resíduos sólidos** – classificação, Rio de Janeiro, 2004, 77p.
- [26] RODRIGUES, L. R.; FRANCISCO, M. A. C. O.; SAGRILLO, V. P. D.; LOUZADA, D. M.; ENTRINGER, J. M. S. **Caracterização de resíduos sólidos da**

indústria de celulose tipo kraft visando sua aplicação no desenvolvimento de materiais cerâmicos. 22º CBECiMat – Natal – RN, 2016.

- [27] MYMRIN, V.; CUSMA, D. F.; RISSARDI, J. L.; CAVALIN, F. L.; CORREIA, R.A.M.; ROLIM, P.H.B.; PEDROSO, C.L. **Utilização de resíduos de produção de papel e celulose para fabricação de materiais de construção ambientalmente limpos.** 8º fórum internacional de resíduos sólidos Curitiba – PR, 2017.
- [28] RIBEIRO, ALCÍDIO PINHEIRO, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- [29] PEREIRA, R. S. **Viabilidade técnica do emprego de resíduos da indústria de celulose para construção de estradas florestais.** 2005. 330f. Tese Doutorado (Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.
- [30] ALMEIDA, H.C.; SILVEIRA, C.B. da; CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, D. **Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs).** Química Nova, São Paulo, v.30, p.1669-1672, 2007.
- [31] CABRAL, F.; RIBEIRO, H. M.; HILÁRIO, L.; MACHADO, L.; VASCONCELOS, E. **Use of pulp mill inorganic wastes as alternative liming materials.** Bioresource Technology, v.99, p.8294-8298, 2008.
- [32] MODOLO, R.; BENTA, A.; FERREIRA V.M.; MACHADO, L.M. **Pulp and paper plant wastes valorisation in bituminous mixes.** Waste Management, v.30, p.685-696, 2010.
- [33] HERIYANTO; PAHLEVANI, F.; SAHAJWALLA, V. **From waste glass to building materials e an innovative sustainable solution for waste glass.** Journal of Cleaner Production, v.191, p.192-206, 2018.
- [34] ACIU, C.; VARVARA, D. A. I.; MANEA, D. L.; ORBAN, Y. A.; BABOTA, F. **Recycling of plastic waste materials in the composition of ecological mortars.** Procedia Manufacturing, v.22, p.274-279, 2018.
- [35] WONG, C. L.; MO, K. H.; YAP, S. P.; ALENGARAM, U. J.; LING, T.C. **Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A Review.** Journal of Cleaner Production, v.195, p.226-239, 2018.
- [36] MAKUL, N.; IAM, G. S. **Innovative utilization of foundry sand waste obtained from the manufacture of automobile engine parts as a cement replacement material in concrete production.** Journal of Cleaner Production, v.199, p.205-220, 2018.
- [37] CAMARINI, G.; MILITO, J. A. **Gypsum hemihydrate-cement blends to improve renderings durability.** Construction and Building Materials, v.25, p.4121-4125, 2011.
- [38] L. L. CARVALHO; P. R. B. GOMES; H. A. PINHEIRO; H. S. LIMA; E. F. SILVA. **Gesso: uma perspectiva dos impactos ambientais, noções básicas sobre sua produção química e ponto estratégico de captação de renda na cidade de Grajaú-MA.** Educação Ambiental. Disponível em: <http://revistaeea.org/pf.php?idartigo=2248>. Capturado em 21/10/2017.

-
- [39] SITE BLOG DO GESSEIRO - **Consumo de drywall cresce 15% ao ano, veja os números** – 26 de março de 2015. Disponível em: <http://www.blogdogesseiro.com/consumo-de-drywall-cresce-15-ao-anoveja-os-numeros/>. Capturado em 23/05/2017.
- [40] KARNI, J.; KARNI, E. **Gypsum in construction: origin and properties**. Materials and Structures, v.28, p.92-100, 1995.
- [41] RIVERO, A.J.; NAVARRO, J.G. **Indicators to measure the management performance of end-of-life gypsum: from deconstruction to production of recycled gypsum**. Waste Biomass Valorization, v.7, p.913-918, 2016.
- [42] S. SUAREZ; X. ROCA; S. GASSO. **Product-specific life cycle assessment of recycled gypsum as a replacement for natural gypsum in ordinary Portland cement: application to the Spanish context**. J. Cleaner Prod., v.117, p. 150-159, 2016.
- [43] MENDONÇA, R.S.; SANTOS, L.B.; MOURA, A.E.; VASCONCELOS, E.C.; SARUBBO, L.A.; SANTOS, V.A. **Optimisation of recyclable beta plaster using plaster waste in a continuous reactor with a mobile helical elemento**. Journal of Cleaner Production, , p.370-377, 2016.
- [44] L. L. F. SOUZA. **Reciclagem de placas de gesso acartonado**. Tese de pós-graduação, Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.
- [45] J. E. A. LACOMBE. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduo de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil**. Tese de pós-graduação, Universidade de São Paulo, 2015.
- [46] H.R.T. Silva, B.M.M. Cavalcante, J.V.J. Hoffmann, P. Egert, R.F. Magnago. **Estudo sobre a produção de placas de isolamento acústico com incorporação de aparas de EVA**. 22º CBECiMat – Natal – RN, 2016.
- [47] G. A. KRAVCHENKO; E. M. FERREIRA; A. PASQUALETTO. **Aproveitamento de resíduos na produção de chapas recompostas**. REGET, , v. 19, n.21, p.1499-1507, 2015.
- [48] Merino, M. R.; Astorqui, J. S. C.; Sáez, P. V.; Jiménez, R. S.; Cortina M. G. **Eco plaster mortars with addition of waste for high hardness coatings**. Construction and Building Materials, v.158, p.649-656, 2018.
- [49] ZHAO, J.; WANG, D.; YAN, P.; ZHANG, D.; WANG, H. **Self-cementitious property of steel slag powder blended with gypsum**. Construction and Building Materials, v.113, p.835-842, 2016.
- [50] SERNA, Á.; RÍO, M.; PALOMO, J. G.; GONZÁLEZ, M. **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.

-
- [51] RIVERO, A. J.; BÁEZ, A. G.; NAVARRO, J. G. **New composite gypsum plaster – ground waste rubber coming from pipe foam insulation.** *Construction and Building Materials*, v.55, p.146–152, 2014.
- [52] IUCOLANO, F.; CAPUTO, D.; LEBOFFE, F.; LIGUORI, B. **Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers.** *Construction and Building Materials*, v.99, p.184-191, 2015.
- [53] SAVI, O. **Produção de placas de forro com a reciclagem do gesso.** 2012. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2012. Disponível em:< <http://www.peu.uem.br/Discertacoes/Olindo.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2018.
- [54] NORMA, ASTM C472-99. **Standard Test Methods for Physical Testing of Gypsum, Gypsum Plasters and Gypsum Concrete.** *ASTM American Society for Testing and Materials*, 2014.
- [55] NORMA, NBR 12128. **Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta - Método de ensaio.** ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2017.
- [56] BARBERÀ, X. M.; CARBÓ, M. T. D.; SALOM, J. L. R. **Study of the physical properties of hydraulic and resin bound mortars used for making sculpture replicas from tosca de rocafort and bateig stones.** *Publicación del instituto universitario de restauración del patrimonio de la UPV*, p.77 a 82, 2007.
- [57] NORMA, NBR 12129. **Gesso para construção civil — Determinação das propriedades mecânicas.** ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2017.
- [58] UNE-EN 13279-1, **Gypsum binders and gypsum plasters. Part 1: Definitions and requirements.**, S. A. f. S. a. Certification, 2009.
- [59] ASTM C518. **Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus**, 2017.
- [60] ASTM C1363. **Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus**, 2019.
- [61] M. SOPHIA, N. SAKTHIESWARAN, **Waste shell powders as valuable bio- filler in gypsum laster – Efficient waste management technique by effective utilization,** *Journal of Cleaner Production*, 220, 74-86 2019.
- [62] RODRIGUES, L. R.; FRANCISCO, M. A. C. O.; SAGRILLO, V. P. D.; LOUZADA, D. M.; ENTRIGUER, J. M. S. **Caracterização de resíduos sólidos da indústria de celulose tipo kraft visando sai aplicação no desenvolvimento de materiais cerâmicos.** 22º CEBCiMat, Natal, 750-760, 2016.
- [63] NORMA, NBR 13207. **Gesso para construção civil - Especificação.** ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2005.
- [64] ANDRADE, A. C.; SOUZA, J. G. G.; ALMEIDA, M. O.; NASCIMENTO, A. F.; SAMPAIO, B. A.; PINHEIRO, S. M. M. **Avaliação do tempo de pega e do calor de**

-
- hidratação de pastas de gesso, para revestimento, com a incorporação de resíduo de gesso.** 21° CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá, 2014.
- [65] BERETKA, J.; CIOFFI, R.; MARROCCOLI, VALENTI, M.; G. L., **Energy-saving cements obtained from chemical gypsum and other industrial wastes**, Waste Management, 16, 231-235, 1996.
- [66] LEWRY, A. J.; WILLIAMSON, J. **The setting of gypsum plaster: Part III The effect of additives and impurities.** Journal of Materials Science, 29, 6085-6090, 1994.
- [67] CHINDAPRASIRT, P.; BOONSERM, K.; CHAIRUANGSRI, T.; VICHIT-VADAKAN, W.; EAIMSIN, T.; SATO, T.; PIMRAKSA, K. **Plaster materials from waste calcium sulfate containing chemicals, organic fibers and inorganic additives**, Construction and Building Materials, 25, 3193-3203, 2011.
- [68] HASS, M.; SUTHERLAND, G. **The infra-red spectrum and crystal structure of gypsum**, *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, The Royal Society, pp. 427–445, 1956.
- [69] SEIDL, V.; KNOP, O.; FALK, M. **Infrared studies of water in crystalline hydrates: gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$** , Can. J. Chem. 47, 1361–1368, 1969.
- [70] MARTINS, F. M. **Caracterização Química e Mineralógica de Resíduos Sólidos Industriais Mineraiis do Estado do Paraná.** Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de pós-graduação em Química - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 158f. 2006.
- [71] PAIVA, L.B.; MORALES, A.R.; DÍAZ, F.R.E. **Argilas organofílicas: características, metodologias de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização.** Cerâmica v.54, p.213-226, 2008.
- [72] DABBAS, M. A.; EISA, M. Y.; KADHIM, W. H.; **Estimation of Gypsum- Calcite Percentages Using a Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR), in Alexandria Gypsiferous Soil -Iraq.** Iraqi Journal of Science, 55, 1916-1926, 2014.
- [73] SELAMAT, M. E.; HASHIM, R.; SULAIMAN, O.; KASSIM, M. H. M.; SAHARUDIN, N. I.; TAIWO, O. F. A., **Comparative study of oil palm trunk and rice husk as fillers in gypsum composite for building material**, Construction and Building Materials 197, 526–532, 2019.
- [74] A. S. GONZÁLEZ; M. D. R. MERINO; C. V. ARREBOLA; P. V. SÁEZ, **Lightweight material made with gypsum and extruded polystyrene waste with enhanced thermal behaviour**, Construction and Building Materials, 93, 57-63, 2015.
- [75] M. LAMRANI; N. LAAROUSSI; A. KHABBAZI; M. KHALFAOUI; M. GAROUM; A. FEIZ. **Experimental study of thermal properties of a new ecological building material based on peanut shells and plaster**, Case Studies in Construction Materials, 7, 294-304, 2017.