



**LUCIANA SILVA VILLELA**

**COMPÓSITOS À BASE DE GESSO  
REFORÇADO COM PARTÍCULAS DE  
RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS E  
EMBALAGENS CARTONADAS**

**LAVRAS - MG**

**2017**

**LUCIANA SILVA VILLELA**

**COMPÓSITOS À BASE DE GESSO REFORÇADO COM PARTÍCULAS  
DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS E EMBALAGENS  
CARTONADAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes

Co-orientador

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

**LAVRAS – MG**

**2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Villela, Luciana Silva.

Compósitos à base de gesso reforçados com partículas de resíduos  
lignocelulósicos e embalagens cartonadas / Luciana Silva Villela. - 2017.  
88p. : il.

Orientador(a): Lourival Marin Mendes.

Coorientador(a): Rafael Farinassi Mendes.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras,  
2017.

Bibliografia.

1. Propriedades físicas. 2. Propriedades mecânicas. 3. Condutividade  
térmica. I. Mendes, Lourival Marin. II. Mendes, Rafael Farinassi. III. Título.



**LUCIANA SILVA VILLELA**

**COMPÓSITOS À BASE DE GESSO REFORÇADO COM PARTÍCULAS  
DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS E EMBALAGENS  
CARTONADAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de agosto de 2017.

Dra. Joelma Rezende Durão Pereira UNILAVRAS

Dra. Andrea Aparecida Ribeiro Corrêa UFLA

Dr. José Benedito Guimarães Junior UFLA

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes

Orientador

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Co-orientador

**LAVRAS – MG**

**2017**

A Deus,

A minha mãe, Rejane

Ao meu pai, Francisco

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida, pela força nos momentos difíceis e por ter me dado uma família maravilhosa.

Aos meus queridos pais, Francisco Nogueira Villela e Rejane Aparecida Silva Villela, pelo exemplo de força e dedicação, pela educação, incentivo e carinho.

Aos meus avôs, pelo exemplo, força e amor.

Aos meus tios, tias, primos e primas, pelo companheirismo, força e alegria, em especial ao Wagner que, mais que um tio, é um anjo em minha vida e às minhas primas, Lisiane e Larissa, que são como minhas irmãs.

A minha afilhada, Júlia, por encher minha vida de amor.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais (PPGBIOMAT), pela oportunidade concedida para a realização do mestrado e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores Lourival Marin Mendes, Rafael Farinassi Mendes e José Benedito Guimarães Júnior, pela orientação, paciência, ensinamentos e amizade.

A todos os colegas de trabalho, pelo companheirismo e amizade.

A todos os meus amigos, que me deram apoio, alegrias e momentos felizes.

Enfim, a todos aqueles que participaram, de forma direta ou indireta, da realização deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho foi realizado com os objetivos de desenvolver e caracterizar compósitos à base de gesso reforçado com partículas de bagaço de cana-de-açúcar, pinus, eucalipto e embalagens cartonadas trituradas. Para a produção dos compósitos foram utilizados gesso fino para fundição, partículas de: *Pinus oocarpa*, *Eucalyptus grandis*, bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de embalagens cartonadas. As proporções utilizadas para a incorporação dos reforços foram de 0%, 7,5%, 15%, 22,5% e 30% em substituição ao gesso. A relação água/gesso foi determinada de acordo com a norma EN 13279-2 (2004). Os corpos de prova (três repetições por tratamento) foram confeccionados em fôrmas de madeira, tendo para os ensaios físicos e mecânicos, dimensões de 40 x 40 x 160 mm e, para o ensaio térmico, as dimensões de 20 x 20 x 2 mm. Os diferentes reforços adicionados levaram a um aumento em umidade e absorção de água, enquanto que, para densidade aparente, resistência à flexão, resistência à compressão, rigidez na compressão e condutividade térmica, houve decréscimo. Todos os materiais atenderam à normatização para resistência à flexão. Todas as incorporações de pinus e eucalipto atenderam à norma para resistência à compressão. Já os reforços de bagaço de cana e embalagem cartonada atendem à normatização para compressão com inserção máxima de reforço de 28,06% e 24,3%, respectivamente. Os materiais que apresentaram melhor desempenho como reforço em compósitos de gesso foram as partículas de pinus e eucalipto.

**Palavras-chave:** Pinus. Eucalipto. Cana de açúcar. Propriedades físicas e mecânicas. Condutividade térmica.



## ABSTRACT

The aim of this project was to develop and characterize composites made from plaster reinforced with particles of sugarcane bagasse, Pinus, Eucalyptus and crushed carton packages. For the production of the composites we used fine casting plaster, carton package wastes and particles of Pinus oocarpa, Eucalyptus grandis and sugarcane bagasse. The following proportions were used in order to incorporate reinforcements as substitutes for the plaster: 0%, 7.5%, 15%, 22.5% and 30%. The water/gypsum ratio was determined according to standard EN 13279-2:2004. The samples (three replicates per treatment) were made using wooden formers whose physical and mechanical dimensions were 40 x 40 x 160 mm. The dimensions used for the thermal test were 20 x 20 x 2mm. Due to the different reinforcements there was an increase of moisture and water absorption, whereas there was a decrease of seeming density, flexural strength, compressive strength, compression stiffness and thermal conductivity. All materials met the standard for flexural strength. All Pinus and Eucalyptus incorporations met the standard for compressive strength. On the other hand, reinforcements of sugarcane bagasse and carton packaging follow the standard for compression with maximum reinforcement insertion of 28.06% and 24.3%, respectively. The materials that presented better performance as reinforcement of plaster composites were the particles of Pinus and Eucalyptus.

**Keywords:** Pinus. Eucalyptus. Sugarcane. Physical and mechanical properties. Thermal conductivity.

## LISTA DE FIGURAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 1  | Blocos de gesso.....   | 19 |
| Figura 2  | Placas de gesso acartonado.....  | 19 |
| Figura 3  | Representação esquemática da parede celular das plantas naturais.....  | 24 |
| Figura 4  | Diferentes reforços incorporados na matriz de gesso.....   | 32 |
| Figura 5  | Determinação da massa unitária do gesso.....   | 33 |
| Figura 6  | (a) Moldes de confecção dos corpos-de-prova para os ensaios mecânicos e físicos (b) armazenamento dos corpos-de-prova..... | 37 |
| Figura 7  | (a) Moldes de confecção dos corpos-de-prova para os ensaios térmicos (b) armazenamento dos corpos-de-prova.                | 37 |
| Figura 8  | (a) Corpos de prova para realizar o ensaio de flexão; (b) Ensaio de flexão.....  | 41 |
| Figura 9  | (a) Corpos de prova para realizar o ensaio de compressão; (b) Ensaio de compressão.....                                    | 42 |
| Figura 10 | Equipamento utilizado para análise do isolamento térmico   | 44 |
| Figura 11 | Umidade dos compósitos.....  | 56 |
| Figura 12 | Densidade aparente dos compósitos.....   | 58 |
| Figura 13 | Absorção de água dos compósitos.....   | 60 |
| Figura 14 | Módulo de ruptura dos compósitos.....  | 62 |
| Figura 15 | Resistência a compressão dos compósitos.....   | 65 |
| Figura 16 | Módulo de elasticidade dos compósitos.....   | 68 |
| Figura 17 | Condutividade térmica dos compósitos.....  | 69 |
| Figura 18 | Cristalização do gesso no compósito referência.....  | 71 |
| Figura 19 | Micrografia do compósito de gesso com partículas de bagaço de cana-de-açúcar.....  | 72 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 20 | Micrografia do compósito de gesso com partículas de pinus.....              | 73 |
| Figura 21 | Micrografia do compósito de gesso com partículas de eucalipto.....          | 73 |
| Figura 22 | Micrografia do compósito de gesso com embalagens cartonadas trituradas..... | 74 |

## LISTA DE TABELAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabela 1  | Metodologias e normas para análises químicas.....                                      | 35 |
| Tabela 2  | Média da massa unitária do gesso a partir de três medições, NBR 12127/91.....          | 46 |
| Tabela 3  | Média da densidade básica dos reforços.....  | 47 |
| Tabela 4  | Resultados quantitativos dos componentes químicos das partículas lignocelulósicas..... | 49 |
| Tabela 5  | Caracterização morfológica das partículas lignocelulósicas                             | 52 |
| Tabela 6  | Razões água/gesso e massa unitária da pasta de gesso.....                              | 54 |
| Tabela 7  | Parâmetros da análise de regressão para a umidade dos compósitos.....                  | 57 |
| Tabela 8  | Parâmetros da análise de regressão para a densidade dos compósitos.....                | 58 |
| Tabela 9  | Parâmetros da análise de regressão para a absorção de água dos compósitos.....         | 61 |
| Tabela 10 | Parâmetros da análise de regressão para MOR dos compósitos.....                        | 63 |
| Tabela 11 | Parâmetros da análise de regressão para a resistência à compressão dos compósitos..... | 65 |
| Tabela 12 | Parâmetros da análise de regressão parados compósitos                                  | 68 |

## SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | INTRODUÇÃO.....   | 13 |
| 2     | REFERENCIAL TEÓRICO.....  | 15 |
| 2.1   | Gipsita.....  | 15 |
| 2.2   | Gesso.....  | 16 |
| 2.3   | Aplicações.....   | 18 |
| 2.4   | Compósitos.....   | 20 |
| 2.5   | Compósitos à base de gesso.....   | 21 |
| 2.6   | Partículas lignocelulósicas.....  | 23 |
| 2.6.1 | Pinus.....  | 25 |
| 2.6.2 | Eucalipto.....  | 27 |
| 2.6.3 | Bagaço de cana de açúcar.....   | 28 |
| 2.7   | Embalagens cartonadas.....  | 29 |
| 3     | MATERIAL E MÉTODOS.....   | 31 |
| 3.1   | Matéria-prima.....  | 31 |
| 3.2   | Caracterização do gesso.....  | 32 |
| 3.3   | Caracterização das partículas lignocelulósicas e embalagens cartonadas..... | 35 |
| 3.3.1 | Densidade Básica.....   | 35 |
| 3.3.2 | Análise química dos resíduos lignocelulósicos.....                          | 35 |
| 3.3.3 | Dimensões das partículas lignocelulósicas.....                              | 36 |
| 3.4   | Compósitos de gesso.....  | 40 |
| 3.5   | Propriedades físicas.....   | 38 |
| 3.5.1 | Determinação da umidade.....  | 38 |
| 3.5.2 | Absorção de água.....   | 38 |
| 3.5.3 | Determinação da densidade aparente.....                                     | 39 |
| 3.6   | Propriedades mecânicas.....   | 40 |

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 3.6.1 | Determinação da resistência de ruptura à flexão (MOR).....         | 40        |
| 3.6.2 | Determinação da resistência à ruptura na compressão.....           | 41        |
| 3.7   | Análise de isolamento térmico.....                                 | 43        |
| 3.8   | Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....                     | 44        |
| 3.9   | Análise dos resultados.....  | 45        |
| 4     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                 | <b>46</b> |
| 4.1   | Caracterização do gesso.....                                       | 46        |
| 4.1.1 | 4.1.1 Massa unitária do gesso.....                                 | 46        |
| 4.2   | Caracterização dos reforços.....                                   | 47        |
| 4.2.1 | 4.2.1 Densidade básica.....  | 47        |
| 4.2.2 | 4.2.2 Análises químicas.....                                       | 49        |
| 4.2.3 | 4.2.3 Tamanho das partículas.....                                  | 52        |
| 4.3   | Compósitos de gesso.....   | 53        |
| 4.3.1 | 4.3.1 Relação água e gesso e massa unitária da pasta de gesso..... | 53        |
| 4.4   | Ensaio físicos.....  | 56        |
| 4.4.1 | 4.4.1 Umidade dos compósitos.....                                  | 56        |
| 4.4.2 | 4.4.2 Densidade aparente dos compósitos.....                       | 58        |
| 4.4.3 | 4.4.3 Absorção de água dos compósitos.....                         | 60        |
| 4.5   | Ensaio Mecânicos.....  | 62        |
| 4.5.1 | 4.5.1 Resistência à flexão.....                                    | 62        |
| 4.5.2 | 4.5.2 Resistência à compressão.....                                | 64        |
| 4.6   | Conforto térmico.....  | 69        |
| 4.7   | Caracterização microestrutural dos compósitos.....                 | 71        |
| 5     | <b>CONCLUSÕES.....</b>   | <b>75</b> |
|       | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>76</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A busca pelo desenvolvimento de materiais inovadores e sustentáveis é cada vez mais crescente. Procura-se incorporar subprodutos de outras indústrias, buscando-se obter materiais menos agressivos ao ambiente, mais econômicos, duráveis, resistentes e com elevada ductilidade (VILA-CHÃ, 2012). Neste contexto, o gesso se destaca por ser um material com propriedades atrativas para a construção civil, tais como a ausência de retração por secagem, o endurecimento rápido, a boa aderência aos substratos, as propriedades mecânicas compatíveis com os esforços atuantes e excelente acabamento superficial. Além destas vantagens, ele apresenta excelentes propriedades térmicas, acústicas e resistência ao fogo (OLIVEIRA, 2009).

Por essa razão, no Brasil, o gesso é muito utilizado na construção civil, como em forros, revestimentos, blocos, placas acartonadas e ornamentos pré-moldados, como molduras, faixas, placas decorativas e florões, dentre outros. Em virtude das propriedades apresentadas e da grande empregabilidade do gesso na construção civil, torna-se fundamental o desenvolvimento de novas pesquisas no intuito de desenvolver novos materiais e tecnologias construtivas a base de gesso, como, por exemplo, os materiais compósitos.

Ao longo dos últimos anos, muitos estudos, nos quais foi utilizado o gesso como matriz para a produção de compósitos reforçados com partículas e fibras lignocelulósicas, fibras sintéticas e resíduos sólidos, foram publicados. Como exemplo citam-se a incorporação na matriz de gesso fibras de palmeira (BRAIEK et al., 2017), resíduos de madeira de demolição (MORALES-CONDE; RODRÍGUEZ-LIÑÁN; PEDREÑO-ROJAS, 2016), cinzas de bagaço de cana (MEDINA ALVARADO et al., 2015), abaca (IUCOLANO et al., 2015), fibras de bananeira e papel kraft (NORONHA, 2014), fibras têxteis, acrílicas, de vidro, de basalto, de banana e de sisal (SILVA et al., 2014), partículas de

borracha de pneus reciclados (SERNA et al., 2012), granulado de cortiça e fibras têxteis (CAMÕES et al., 2010), fibras lignocelulósicas de bambu, coco e sisal (MAGALHÃES; ALMEIDA, 2010) e vermiculita e etileno acetato de vinila (eva) (OLIVEIRA, 2009), dentre outros. A utilização desses diferentes reforços não só abrange o conceito de sustentabilidade, como também contribui para o desenvolvimento de novos materiais, com melhores propriedades.

Partículas lignocelulósicas se destacam pelo baixo custo, disponibilidade, baixa densidade, por não serem tóxicas, por apresentar baixa abrasividade aos equipamentos de processo, além de serem renováveis, biodegradáveis e não poluentes (MACVICAR; MATUANA; BALATINECZ, 1999; SOYKEABKAEW et al., 2009). Inúmeras espécies vegetais apresentam potencial para uso como elemento de reforço em compósitos e vêm sendo objetos de estudos, tais como partículas de madeira, bagaço de cana, juta, sisal, bambu, coco e bananeira, entre outras (MESQUITA, 2013).

Outro material que pode ser utilizado como reforço em compósitos é o resíduo de embalagens cartonadas, visto que elas são utilizadas por um período de tempo bastante curto, gerando um volume de descarte elevado. Por serem formadas por diferentes materiais, devido às suas diversas camadas, sua reciclagem é dificultada, sendo importante determinar novas aplicações para essas embalagens pós-consumo, como, por exemplo, o seu reaproveitamento em compósitos.

Nesse contexto, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a qualidade de material compósito à base de gesso reforçado com diferentes porcentagens de resíduos de bagaço de cana, pinus, eucalipto e embalagens cartonadas trituradas, aplicando a logística reversa, reutilizando estes resíduos e buscando produzir novos materiais, com melhores propriedades.

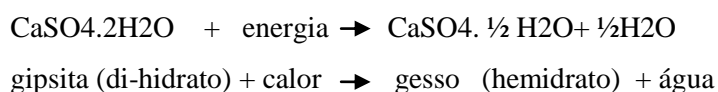


## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Gipsita

Os termos “gipsita” e “gesso” são frequentemente utilizados como sinônimos. No entanto, a denominação gipsita é mais adequada ao mineral em estado natural, enquanto a denominação gesso indica o produto calcinado (VILLANUEVA; SANTOS, 2006). O processo pelo qual a gipsita se transforma em gesso é denominado calcinação, que é o processo de aquecimento térmico pelo qual ela é desidratada (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Agopyan (1989), para a fabricação do gesso, a gipsita, quando calcinada em temperaturas relativamente baixas (140°C-150°C), perde água, liberando-a na atmosfera e transformando o di-hidratado em gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ). A quantidade de energia necessária para a calcinação do gesso é pequena, se comparada a que é necessária para a fabricação do cimento, que requer temperaturas acima de 1.400°C.



De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (BRASIL, 2014), são produzidos mais de 246 milhões de toneladas, por ano, de gipsita bruta no mundo, sendo mais de três milhões de toneladas produzidas no Brasil. No Polo Gesseiro do Araripe, Pernambuco, são gerados 13,9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos, resultantes da atuação de 42 minas de gipsita, 174 indústrias de calcinação e cerca de 750 indústrias de pré-moldados, que têm faturamento anual da ordem de R\$ 1,4 bilhões.ano<sup>-1</sup> (SINDUSGESSO, 2014).

O Brasil, apesar de possuir a maior reserva mundial de gipsita, responde por apenas 1,40% da produção mundial. A China continua sendo o país que mais produz, 132 milhões de toneladas por ano, o que representou 53,7% de toda a produção de 2014 (SINDUSGESSO, 2014).

No consumo setorial deste mineral, predomina o segmento de calcinação do gesso com 59%, seguindo da indústria cimenteira, com 30%, enquanto a participação do gesso agrícola representa apenas 11% (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Munhoz (2008), o beneficiamento da gipsita envolve as operações de coleta manual, britagem, moagem, peneiramento, ensilamento, calcinação, estabilização térmica em silos, nova moagem e novo ensilamento e, finalmente, o ensacamento e a comercialização do produto final, o gesso.

## **2.2 Gesso**

O gesso, um dos mais antigos materiais de construção fabricados pelo homem, é obtido pelo aquecimento da pedra gipsita, transformando-se em um pó, que, em contato com a água, forma a pasta de gesso (MAGALHÃES, 2009).

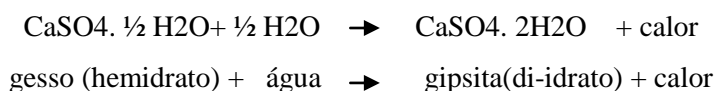
Na forma em que o gesso se encontra disponível no mercado é um pó branco, de elevada finura, equivalente ao cimento, elevada plasticidade da pasta, pega (aderência) e endurecimento rápido, pequeno poder de retração na secagem e estabilidade volumétrica que garantem desempenho satisfatório. Devido à solubilidade dos produtos em gesso ( $1,8 \text{ g.L}^{-1}$ ), a sua utilização fica restrita a ambientes interiores e onde não haja contato direto e constante com água (áreas molhadas) (SILVA et al., 2016).

O gesso de construção nacional é classificado de acordo com sua granulometria (fino ou grosso), sua utilização (fundição ou revestimento) e seu tempo de pega (rápido ou lento) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1994).

O gesso endurecido tem densidade aparente baixa, da ordem de 1.000 kg/m<sup>3</sup> e este valor, dependendo da porosidade do material, pode ser ainda menor (800 kg/m<sup>3</sup>). As pastas de gesso, depois de endurecidas, atingem resistência à tração que varia, aproximadamente, de 0,7 a 3,5 MPa e à compressão entre 5,0 e 15,0 MPa (SILVA et al., 2016).

Dentre as limitações deste material o aparecimento de fissuras, a perda de aderência na interface base-revestimento e sua baixa capacidade de absorver cargas de impactos se destacam (DIAS; CINCOTO, 1995). Entretanto, aplicação dos produtos do gesso se restringe a ambientes com pouca umidade e baixa movimentação de pessoas, devido ao seu comportamento plástico não linear, com pouca eficiência mecânica na presença da água (KLOPROGGE; FROST, 2000) e sua baixa capacidade de absorver cargas de impactos nos planos revestidos (DIAS; CINCOTO, 1995). O desenvolvimento de compósitos à base de gesso tem sido intensificado no intuito de melhorar as suas propriedades e combater as suas limitações.

Conforme Magalhães (2009), o endurecimento do gesso se faz com a adição de água e em poucos minutos. Esse processo envolve a dissolução do gesso em água, seguida de precipitação na forma de di-idrato, liberando calor:



Segundo Agopyan (1989), o di-idrato, produto do gesso, é mais solúvel que os produtos resultantes da cal e do cimento e, por esta razão, o gesso não pode ser aplicado em áreas molháveis. O autor também relata que, por se decompor a baixas temperaturas, ele libera água, retardando a propagação do fogo, sendo recomendado como proteção contra o fogo de outros materiais de construção e devido à sua facilidade de absorção e perda de água, o que

contribui com o equilíbrio da umidade relativa do ar de ambientes fechados, principalmente os climatizados.

### **2.3 Aplicações**

A maior aplicação do gesso é na construção civil, em dois grupos básicos, para revestimento e para fundição. O gesso para revestimento é empregado para revestir paredes e tetos de ambientes internos e secos, enquanto o gesso para fundição é o material empregado na fabricação de placas convencionais, blocos de gesso e chapas de gesso acartonado (JOHN; AGOPYAN; PRADO, 1997; MUNHOZ, 2008).

As placas de gesso convencionais são utilizadas para a execução de forros e o rebaixamento de teto na construção civil. Os blocos de gesso (Figura 1) são elementos de vedação vertical, utilizados para a execução de paredes e divisórias internas nas edificações. As chapas de gesso acartonado (Figura 2), elementos utilizados como divisórias ou forros nas edificações, são produzidas por um processo de laminação contínua, em que uma mistura de gesso, água e aditivos é envolvida por duas lâminas de papel cartão (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2001). Segundo Vila-Chã (2012), a utilização dos blocos de gesso e placas acartonadas está aumentando, visto que permite rápida execução e apresenta superfícies lisas com ótimo acabamento, o que diminui os custos.

Figura 1- Blocos de gesso



Fonte: Do Autor (2017).

Figura 2 - Placas de gesso acartonado



Fonte: Vila-Chã (2012).

De acordo com Munhoz (2008), sob a forma natural, a gipsita é utilizada pelos setores cimenteiro e agrícola. Na indústria cimenteira, cerca de 4% a 5 % de gipsita são adicionados ao clínquer durante o processo de moagem, para retardar o tempo de pega do cimento. Já na agricultura, a gipsita pode atuar como agente corretivo de solos ácidos, fertilizantes em culturas específicas, como amendoim, batata, legumes e algodão, e como condicionador de solos,

aumentando a permeabilidade, a aeração, a drenagem, a penetração e a retenção da água.

## 2.4 Compósitos

Os materiais compósitos, apesar de estarem presentes no cotidiano da humanidade desde os tempos antigos, tiveram seu desenvolvimento e utilização consolidados principalmente após a década de 40 do século XX (AL-QURESHI, 1988).

Compósitos são definidos como materiais que apresentam duas ou mais fases distintas. Uma destas fases é contínua (matriz) e a outra é dispersa (CALLISTER; RETHWISCH, 2016; CHAWLA, 1998, 2003; CLYNE, 1993). Os compósitos podem ser classificados como “naturais ou artificiais” e subdivididos quanto ao i) tipo da matriz ii) tipo do reforço e iii) arranjo estrutural (CALLISTER; RETHWISCH, 2016; CHAWLA, 1998).

Um exemplo de compósito natural é a madeira que é caracterizada por fibras de celulose fortes e rígidas que estão embebidas em uma matriz de lignina. O osso é outro exemplo de compósito natural que suporta o peso de vários membros do corpo, consistindo de pequenas fibras de colágeno embebidas em uma matriz mineral.

Compósitos artificiais foram desenvolvidos a partir do momento em que o homem encontrou limitações no uso dos materiais puros. Por este motivo iniciou-se a procura de materiais com melhores características. Ambos os materiais, matriz e reforço, podem ser polímeros, metais ou cerâmicas. Já os materiais de reforço podem ser fibras contínuas, descontínuas ou particuladas (CALLISTER, 2003; CHAWLA, 1998, 2003; CLYNE, 1993; SINHA, 1996).

Os reforços particulados reforçam compósitos com diferentes geometrias, regulares ou irregulares. O tipo de arranjo destas partículas na

matriz pode ser do tipo aleatório ou orientado. Na maioria dos compósitos reforçados com partículas elas estão dispostas de forma aleatória (SILVA, 2006).

No presente trabalho, os compósitos preparados podem ser classificados como compósitos particulados, com distribuição aleatória em matriz de gesso.

## **2.5 Compósitos à base de gesso**

Pesquisas relacionadas com a utilização do gesso como matriz em compósitos têm sido desenvolvidas utilizando diversos tipos de reforços, como fibras vegetais, fibras sintéticas e resíduos sólidos, dentre outros, sendo diversos os estudos já publicados.

Compósitos a base de gesso com resíduos de madeira de demolição foram estudados por Morales-Conde, Rodríguez-Liñán e Pedreño-Rojas (2016). Nesse trabalho os resultados mostraram que o aumento da quantidade de resíduos de madeira diminuiu a densidade, conferindo leveza ao material, diminuiu a condutividade térmica, reduziu a dureza shore e, apesar de reduzir as propriedades mecânicas, elas atenderam à norma EN 13279-1 (EN, 2006a).

Iucolano et al. (2015) investigaram o efeito da adição de fibras de abacá sobre as propriedades mecânicas do gesso e, além disso, estudaram o efeito de diversos tratamentos sobre as fibras, concluindo que essas fibras, previamente lavadas com água, apresentaram propriedades mecânicas melhoradas.

Silva et al. (2014) estudaram a incorporação de fibras têxteis, acrílicas, de vidro, de basalto, de banana e de sisal em composições diferentes à base de gesso, concluindo que a introdução dos diferentes tipos de fibras revelou ser mais vantajosa, comparativamente a um compósito padrão, sem incorporação de fibras.

Gencil et al. (2014) investigaram as propriedades de compósitos de gesso contendo vermiculita e fibras de polipropileno. Os resultados obtidos por eles revelaram que as fibras de polipropileno aumentaram a compressão enquanto a vermiculita diminuiu tanto a força de compressão quanto a condutividade térmica dos compósitos.

Vasconcelos et al. (2013) concluíram que é possível obter um material compósito resultante da combinação de gesso FGD (gesso de gases de combustão), cortiça e fibras têxteis resultantes do processo de reciclagem de pneus, podendo ser aplicado em blocos para divisórias.

Serna et al. (2012) buscaram melhorar o comportamento elástico do gesso adicionando partículas de diferentes granulometrias de borracha de pneu em fim de vida, concluindo que as propriedades mecânicas obtidas cumprem o padrão UNE-EN 13279-1, sendo a valorização dos resíduos de pneu viável, quando incorporados ao gesso.

Oliveira et al. (2012) avaliaram as propriedades físico-mecânicas de compósitos à base de gesso com a incorporação de resíduos da indústria de calçados, o etileno acetato de vinila (EVA) e a vermiculita para a produção de elementos de revestimento para proteção térmica de alvenarias. Os resíduos de EVA permitiram a geração de compósitos em matriz de gesso com boas propriedades mecânicas para fins de elaboração de placas, visando à proteção térmica em alvenarias. Os teores que se mostraram mais adequados para a confecção dos elementos foram de 20% de vermiculita e 12,5% de EVA.

Bekhta e Dobrowolska (2005) estudaram a influência do teor de partículas de madeira na densidade e nas propriedades térmicas de compósitos à base de gesso, obtendo placas prensadas com teores de partículas de 0 a 35%, cuja densidade variou de 850 a 1.350 kg m<sup>-3</sup> e a condutividade térmica se situou entre 0,189 e 0,753 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>.



Hernández-Olivares et al. (1999) estudaram as propriedades mecânicas e térmicas de um compósito gesso-cortiça, concluindo que ele pode ser utilizado como um material de construção alternativo para o isolamento térmico.

## **2.6 Partículas lignocelulósicas**

Segundo Magalhães (2009), as fibras e/ou as partículas vegetais são materiais sustentáveis que, quando adicionadas em componentes construtivos, favorecem a leveza do material, permitem baixo custo de produção, além de poderem melhorar as propriedades térmicas, acústicas e mecânicas destes componentes.

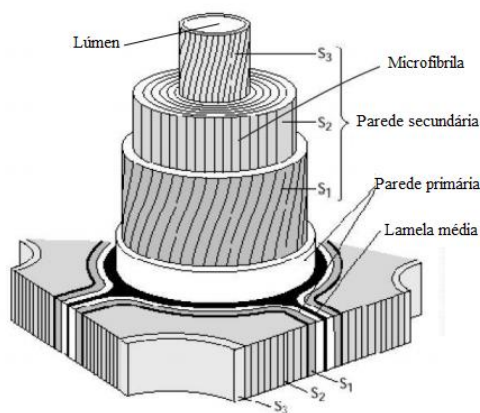
A viabilidade da produção de compósitos com fibras e/ou partículas naturais vem sendo pesquisada há décadas, com longa história de aceitação e aplicação na construção civil (LIMA; IWAKIRI, 2011). Sua utilização como reforço tem sido impulsionada tanto pelas suas vantagens, como pela necessidade de usar matérias-primas de fontes renováveis.

Para Agopyan (1989), a maior vantagem da utilização das fibras de reforço em matrizes frágeis, como pasta de gesso, cimento, argamassas e concretos, é o comportamento do compósito depois da fratura ter sido iniciada. A ductilidade pós-fratura que as fibras conferem ao material é o fator que destaca o comportamento deste material compósito em relação aos outros. No entanto, suas principais limitações citadas são alta absorção de umidade (redução de propriedades mecânicas), interação insatisfatória com resinas de caráter hidrofóbico, sazonalidade, temperatura de degradação inferior à temperatura de processamento do compósito, e a tendência a formar aglomerados na alimentação do processamento (FAHIM; ELHAGGAR, 2012; SANADI, 2004).

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

A estrutura esquemática de sua parede celular é representada por um tubo oco, com quatro camadas diferentes (AKIL et al., 2011; THAKUR; THAKUR, 2014) que são uma parede celular primária e três paredes celulares secundárias, também apresenta um canal aberto no centro das microfibrilas, conhecido como lúmen (Figura 3).

Figura 3 - Representação esquemática da parede celular das plantas naturais



Fonte: Kontturi(2005).

As espécies produtoras de fibras vegetais podem ser de origem lenhosa e não lenhosa. Dentre as espécies lenhosas, destacam-se os gêneros Pinus e

Eucalyptus, pertencentes a dois grupos distintos, gimnospermas e angiospermas, respectivamente. As espécies vegetais não lenhosas mais utilizadas na obtenção de fibras pertencem ao grupo das angiospermas monocotiledôneas, como cana-de-açúcar, algodão, sisal e bambu, dentre outros (ILVESSALO-PFÄFFLI, 1994).

Neste estudo, as partículas lignocelulósicas utilizadas como reforço para a fabricação de compósitos a base de gesso, foram de resíduos madeireiros, pinus e eucalipto, e também partículas do bagaço da cana-de-açúcar.

### **2.6.1 Pinus**

O gênero *Pinus* spp. da família das Pinaceae, é composto por plantas lenhosas, em geral arbóreas, de altura variável, sendo que algumas espécies de *Pinus* se incluem entre as árvores mais utilizadas no mundo (LIMA; JARÁ; ALFONSO, 1988; MORAIS; NASCIMENTO; MELO, 2005). A introdução do gênero *Pinus* no Brasil, visando plantios comerciais, deu-se por volta dos anos 1966, com a política dos incentivos fiscais, utilizando-se espécies provenientes de diferentes regiões dos Estados Unidos, do México, da América Central, das Ilhas Caribenhas e da Ásia (SHIMIZU, 2008).

O pinus é considerado uma conífera de grande porte, com fuste longo e cilíndrico. Possui cones curtos com espinhos triangulares e tem crescimento rápido, podendo atingir de 27 a 34 m de altura e 76 cm de diâmetro, na maturidade, em locais de ocorrência como nativa (CAREY, 1992). Pode ser plantada em regiões tropicais e subtropicais com altitudes de até 900 m, precipitação média anual entre 900 e 2.200 mm e estação seca de até seis meses; temperatura média anual entre 14°C a 24°C e temperatura média do mês mais frio entre 1°C a 18°C. É tolerante a geadas e pode resistir a períodos de alagamento do solo e de déficit hídrico. Pode crescer em uma grande variedade

de tipos de solos, com diferentes texturas, capacidade de retenção de umidade e acidez (BOOTH; JOVANOVIC, 2000; HIGA et al., 2008).

Os plantios de pinus ocupam 1,6 milhão de hectares e concentram-se no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%). Nos últimos cinco anos, a área plantada com esse gênero vem caindo a uma taxa de 2,1% a.a., devido, principalmente, à substituição por eucalipto (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES- IBA, 2016).

Durante o incentivo aos programas de reflorestamento, no início da década de 1970, largas áreas de plantações de *Pinus oocarpa* foram estabelecidas, principalmente na região do Cerrado brasileiro, que compõe, aproximadamente, 25% do território nacional (MOURA; DVORAK; HODGE, 1998).

O *Pinus oocarpa* é uma espécie produtora de madeira com tonalidade amarelada e cerne marrom-pálido e de dureza média. Originária do México e da América Central, nessas regiões é também utilizada para a extração de resinas (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2013).

No Brasil, esta espécie é plantada para a produção de madeira para processamento mecânico. Sua madeira é moderadamente dura e resistente, com alta qualidade para usos em estruturas, construções civis, confecção de chapas e madeira reconstituída (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2013).

As madeiras pertencentes ao gênero *Pinus* spp. fornecem material de boa qualidade para a produção de celulose e para o seu aproveitamento em serraria. Durante as etapas do processamento mecânico da madeira, produz-se grande quantidade de resíduos que são gerados nos processos de fabricação de celulose e papel, móveis, painéis de madeira, laminação de madeira, serrarias e carvão vegetal, entre outros, e esses resíduos não têm recebido a devida valorização (NAHUZ, 2004).

### 2.6.2 Eucalipto

Os eucaliptos são um conjunto de espécies arbóreas muito apreciadas e utilizadas para a produção de madeira em todo o mundo. São originários da Oceania e pertencem à família das Mirtáceas, que inclui mais de 600 espécies (ANDRADE, 1961).

Os plantios de eucalipto ocupam 5,6 milhões de hectares da área de árvores plantadas do país e estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%). Nos últimos cinco anos, o crescimento da área de eucalipto no Brasil foi de 2,8% a.a. O Mato Grosso do Sul se destaca com o plantio de 450 mil hectares nos últimos cinco anos (IBA, 2016).

*Eucalyptus* é o mais importante gênero florestal exótico no Brasil, devido ao seu potencial de utilização nas indústrias como matéria-prima e devido à sua grande área plantada (ALZATE et al., 2005; CARVALHO; NAHUZ, 2001; KAGEYAMA; VENCOVSKY, 1983). Esse gênero apresenta diferentes espécies que têm alta capacidade de crescer rapidamente, o que as tornam matéria-prima indispensável, principalmente nas indústrias cuja demanda é alta. A utilização de madeira de reflorestamento é imprescindível nos dias atuais, pois, dessa forma, evita-se a exploração das florestas nativas (BRITO; BARRICHELO, 1977; CARVALHO; NAHUZ, 2001; COMITRE, 1999; MORA; GARCIA, 2000).

No Brasil, as principais espécies plantadas são *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, *C. citriodora* e *E. camaldulenses*, entre outras (HIGA; MORA; HIGA, 2000).

O *Eucalyptus grandis* é conhecido como eucalipto-rosa, pertencente às angiospermas Myrtaceae, originária da Austrália, de 20-40 m de altura, com tronco retilíneo, copa aberta ou alongada. Multiplica-se por sementes ou por

estacas (LORENZI, 2003). É a espécie florestal mais plantada no Brasil, sendo de importância estratégica na economia do país, devido ao seu potencial produtivo e às características da madeira (AUGUSTO et al., 2007).

Segundo Brito et al. (2005), as sobras provenientes das indústrias madeireiras no Brasil são resíduos que são pouco utilizados e são gerados em grandes quantidades. De acordo com Mota (2006), o reaproveitamento dos resíduos surge como uma alternativa, pois esta prática traz benefícios ambientais, diminuindo a utilização de recursos naturais, além de reduzir a poluição causada pela destinação final inadequada.

### **2.6.3 Bagaço de cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar é originária da Índia e, com o passar do tempo, sua cultura se expandiu para o resto do mundo, sendo hoje cultivada em mais de cem países. A cultura da cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil logo após o seu descobrimento (PAIVA, 1997).

Essa gramínea pertence à família das *Poáceas*, gênero *Saccharum*, com nome botânico *Saccharum officinarum* (MARTINS, 2009). Os principais resíduos resultantes do seu processo produtivo são levedura, vinhaça, torta de filtro, ponta de cana e bagaço, sendo este último, quantitativamente, o mais importante.

O bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo lignocelulósico fibroso obtido da última moagem da cana. É caracterizado como um conjunto de fibras emaranhadas de celulose, sendo produzido em cada vez maior quantidade (MENDES et al., 2008). Trindade et al. (2005) caracterizaram os componentes do bagaço de cana-de-açúcar, tendo as fibras apresentado, em média teores de lignina, holocelulose, celulose e hemicelulose iguais a 25,3%, 72,1%, 55,2% e 16,8%, respectivamente e cristalinidade de 47 %.

Em relação à cultura da cana-de-açúcar, o Brasil se enquadra como o principal produtor mundial, tendo sua produção, na safra 2015/16, sido de 665,6 milhões de toneladas, apresentando um crescimento de 4,9% em relação à safra anterior (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB, 2016). Essa produção representa, para o país, geração de cerca de 186 milhões de toneladas de bagaço de cana, visto que, de acordo com Silva, Gomes e Alsina(2007), cada tonelada processada de cana-de-açúcar gera um total de 280 kg de bagaço de cana.

No entanto, parte do bagaço de cana produzido é considerado matéria-prima, sendo utilizado para aquecimento em caldeiras, na geração de energia elétrica, na produção de ração animal, na indústria química para a produção de plástico biodegradável e na fabricação de papel, papelão e aglomerados, dentre outros (PEDRESCHI, 2009).

Devido a essa grande quantidade de bagaço de cana gerado, tornam-se fundamentais novas pesquisas e aplicações no intuito de reaproveitar esse resíduo, visando reduzir os impactos ambientais gerados quando sua destinação final é feita de forma inadequada e, ao mesmo tempo, obter novos materiais.

## **2.7 Embalagens cartonadas**

A busca de um manejo adequado para os resíduos sólidos urbanos é, certamente, um dos principais desafios para a sociedade. No Brasil, as embalagens representam cerca de um terço dos resíduos sólidos urbanos (NEVES; CASTRO, 2012).

As embalagens cartonadas, também chamadas de "longa vida" ou multicamadas, são compostas de várias camadas, sendo 75% de papel, 20% de polietileno de baixa densidade e 5% de alumínio. Esses materiais em camadas criam uma barreira que impede a entrada de luz, ar, água, micro-organismos e

odores externos e, ao mesmo tempo, preserva o aroma dos alimentos dentro da embalagem (CEMPRE, 2009).

As embalagens da Tetra Pak® são 100% recicláveis e podem ser transformadas em caixas de papelão, canetas, vassouras, telhas e placas para construção civil, entre outros materiais. Em 2014, 651 mil toneladas de embalagens foram recicladas no mundo. No Brasil foram recicladas mais de 76 mil toneladas em 2014, no entanto, esse valor ainda é baixo, visto que representa apenas 31% das embalagens comercializadas no país (TETRAPAK, 2014).

O processo de reciclagem das embalagens cartonadas pode acontecer de várias maneiras. Como elas são compostas por três diferentes materiais, é necessário realizar a separação do papel, do polietileno e do alumínio. De maneira geral, são vendidos, para as indústrias de papel, fardos dessas embalagens. Essas indústrias possuem instalações de reciclagem, onde as embalagens são trituradas e batidas com água, para dissolver o papel que se separa dos outros materiais (polietileno e alumínio). Outra maneira de reciclar essas embalagens é picá-las e prensá-las em altas temperaturas, formando-se, assim, chapas semelhantes ao aglomerado de madeira. Outra maneira de reciclar estas embalagens é por meio da incineração, que consiste em utilizar essas embalagens para a obtenção de energia térmica, que pode ser transformada em outras formas de energia (BORGES, 2007; CUNHA, 2011).

Diante do exposto, torna-se necessário o estudo de novas aplicações dessas embalagens cartonadas pós-consumo, na composição de novos materiais, visando diminuir o acúmulo desses resíduos na natureza e, ao mesmo tempo, contribuir para a geração de materiais alternativos e sustentáveis.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Matéria-prima

Os materiais que foram utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram o gesso para a matriz do compósito e quatro tipos de materiais de reforço, três lignocelulósicos e um resíduo sólido. Os materiais lignocelulósicos utilizados foram bagaço de cana (Figura 4a), pinus (Figura 4b) e eucalipto (Figura 4c). O resíduo sólido utilizado foi embalagens cartonadas trituradas (Figura 4d).

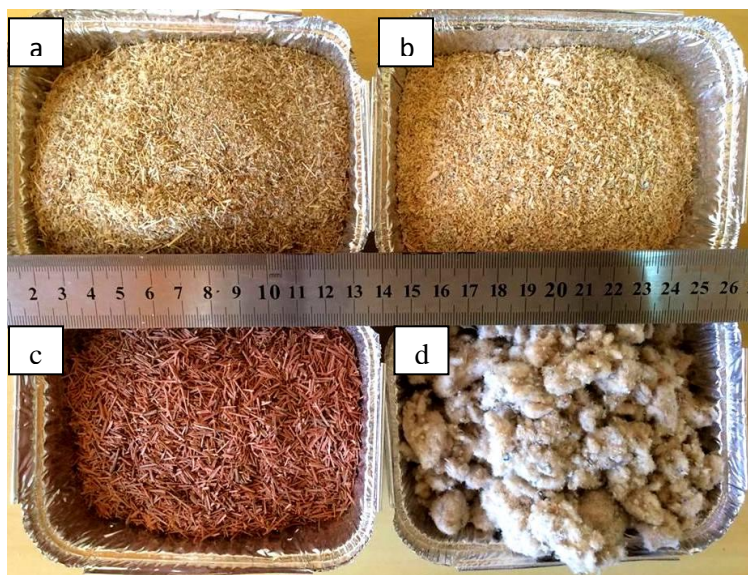
Na matriz dos compósitos foi utilizado gesso fino para fundição proveniente do Polo Gesseiro do Araripe, no estado de Pernambuco, disponível no comércio local da cidade de Lavras, MG.

As partículas lignocelulósicas de *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis* foram obtidas a partir de resíduos de laminação de toras extraídas no *campus* da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG.

As partículas de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) foram obtidas de resíduos gerados em um alambique na cidade de Lavras, MG. Esses materiais lignocelulósicos foram moídos em moinho de facas e, posteriormente peneirados em peneiras sobrepostas de 12 mesh e 20 mesh, tendo sido utilizadas somente as partículas que ficaram retidas na peneira de 20 mesh.

As embalagens cartonadas foram obtidas em pontos de coletas destinados para reciclagem dessas embalagens pós-consumo. Elas foram abertas e lavadas com água corrente. Posteriormente, foram picotadas em pequenas dimensões e trituradas em moinho de facas.

Figura 4- Diferentes reforços incorporados na matriz de gesso



Fonte: Do Autor (2017).

### 3.2 Caracterização do gesso

A relação água/gesso foi determinada, de acordo com a norma EN 13279-2, seguindo o método de aspersão, pela massa de gesso que pode ser saturada quando são polvilhados em 100g de água.

A massa unitária do gesso foi calculada conforme a NBR 12127 (ABNT, 1991) e NBR 13207 (ABNT, 1994).

Utilizou-se um recipiente feito com material não corrosivo, com capacidade 1.000 cm<sup>3</sup>, peneira de 10 mesh, com abertura de malha igual a 2mm. O gesso foi peneirado em pequenas quantidades até atingir o topo do recipiente (Figura 5) e o excesso foi retirado com cuidado, a fim de evitar a compactação. Após esse procedimento pesaram-se o recipiente contendo o gesso e também o recipiente vazio, descontando sua massa da massa final (gesso + recipiente).

Este processo foi repetido três vezes e a massa unitária foi calculada de acordo com a equação 1. O valor adotado foi obtido pela média das três repetições.

$$Mu = \frac{Mt - Mr}{V} \quad \text{Equação (1)}$$

$Mu$  - massa unitária do gesso, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$Mt$  - massa total do gesso + recipiente, em kg;

$Mr$  - massa do recipiente, em kg;

$V$  - volume do recipiente, em  $\text{cm}^3$ .

Figura 5- Determinação da massa unitária do gesso



Fonte: Do Autor (2017).

Para o cálculo da massa unitária da pasta de gesso, adicionaram-se gesso e água com o mesmo fator  $a/g$  utilizado para moldar os corpos de prova. Utilizou-se o mesmo recipiente e o procedimento para o cálculo foi igual ao da massa unitária do gesso.

A quantidade de material adotado nos tratamentos foi calculada a partir da massa unitária da pasta de gesso e massa unitária da partícula. As equações 2, 3, 4 e 5 representam os cálculos.

$$\text{Qtd de gesso}(g/cm^3) = \frac{\text{Mu da pasta de gesso } (g/cm^3)}{(1 + a/g)} \quad \text{Equação (2)}$$

$$\text{Qtd de gesso}(g) = \text{Qtdde gesso } (g/dm^3) \times V (dm^3) \quad \text{Equação (3)}$$

$$\text{Qtd de água}(g) = a/g \times \text{Qtd de gesso } (g) \quad \text{Equação (4)}$$

$$\text{Qtd de partícula}(g) = \%Tp \times Dp (g/dm^3) \times V (dm^3) \quad \text{Equação (5)}$$

Sendo

$Qtd$  - quantidade;

$Mu$  - massa unitária da pasta de gesso;

$a/g$  -relação água/gesso;

$V$  - volume da forma;

$Tp$  -teor de partícula em %;

$Dp$ - densidade média das partículas.

### 3.3 Caracterização das partículas lignocelulósicas e embalagens cartonadas

#### 3.3.1 Densidade básica

A densidade básica da madeira de pinus e eucalipto foi determinada de acordo com o método de imersão em água, conforme descrito pela norma técnica NBR 11941 (ABNT, 2003a), sendo realizadas cinco repetições. A densidade básica do bagaço de cana e das embalagens cartonadas trituradas foi determinada pelo método da proveta graduada, conforme descrito por Protásio et al.(2013).

#### 3.3.2 Análise química dos resíduos lignocelulósicos

As amostras foram armazenadas em frascos e levadas à sala de climatização, em condições de temperatura de  $20\pm 2$  °C e umidade relativa de  $65\pm 3\%$ , até apresentarem massa constante. A análise química foi realizada de acordo com as metodologias e as normas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1-Metodologias e normas para análises químicas.

| Componentes Químicos | NORMAS                              |
|----------------------|-------------------------------------|
| Cinzas               | Norma NBR 13999 (ABNT, 2003b)       |
| Extrativos           | Norma NBR 14853 (ABNT, 2010b)       |
| Lignina              | Norma NBR 7989 (ABNT, 2010a)        |
| Holocelulose         | Browning (1963)                     |
| Celulose             | Kennedy, Phillips e Willians (1987) |

Fonte: Do Autor (2017).

### 3.3.3 Dimensões das partículas lignocelulósicas

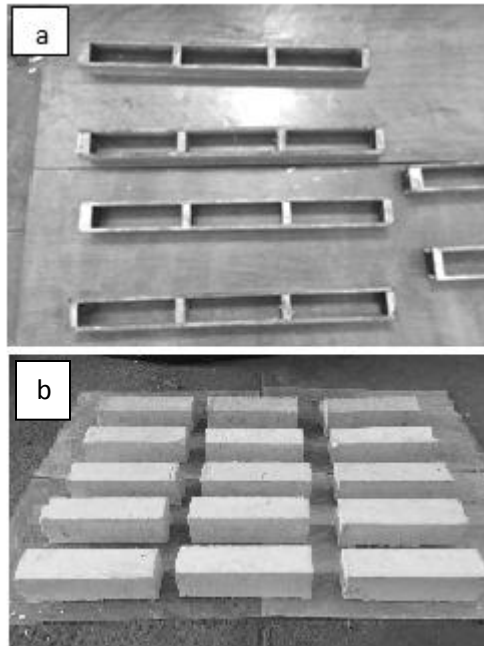
A análise das partículas visando à determinação das suas dimensões (comprimento e espessura) foi feita a partir de imagens, utilizando-se uma máquina fotográfica digital. As mensurações foram realizadas por meio do *software imageJ*, adotando-se uma base amostral de 30 repetições. O índice de esbeltez foi calculado dividindo-se o comprimento pelo diâmetro.

### 3.4 Compósitos de gesso

Foram confeccionados compósitos à base de gesso com incorporação de partículas de pinus, bagaço de cana, eucalipto e resíduos de embalagens cartonadas, todas nas proporções de 0%, 7,5%, 15%, 22,5% e 30%, em substituição ao volume de gesso.

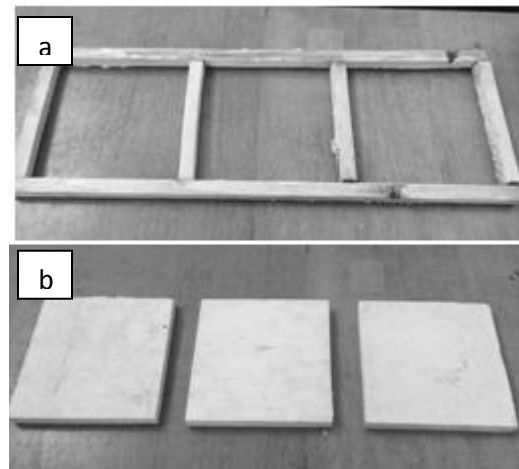
Os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram confeccionados com o auxílio de uma forma feita de MDF, fabricada com fundo em madeira (Figura 6a), de forma a garantir que as dimensões dos corpos de prova fossem de 40x40x160 mm, conforme especificações da EN 13279-2 (EN, 2006b). Para os ensaios físicos foram utilizados os mesmos corpos de prova preparados para os ensaios mecânicos. Já para realizar o ensaio térmico, eles foram feitos com ripas de madeira, de forma a garantir que as suas dimensões fossem de 20x20x2mm (Figura 7a). Para cada tratamento foram moldados três corpos de prova. Após o período de 24 horas, eles foram retirados dos moldes e colocados em local livre da ação de intempéries. Durante quatro dias eles foram virados diariamente, para garantir uma secagem uniforme. No sexto dia, foram pesados e colocados em estufa, a 40°C, com o objetivo de atingir a massa constante. No sétimo dia realizaram-se os ensaios. Nas Figuras 6b e 7b estão ilustrados os corpos de prova após os sete dias.

Figura 6 - (a) Moldes de confecção dos corpos de prova para os ensaios mecânicos e físicos; (b) armazenamento dos corpos de prova



Fonte: Do Autor(2017).

Figura 7- (a) Moldes de confecção dos corpos de prova para os ensaios térmicos; (b) armazenamento dos corpos de prova



Fonte: Do Autor (2017).

### 3.5 Propriedades físicas

#### 3.5.1 Determinação da umidade

Para determinar a umidade dos corpos de prova, as amostras, após o período de sete dias de cura e com peso constante, foram pesadas, obtendo-se sua massa úmida. Posteriormente, elas foram armazenadas em estufa ventilada, à temperatura de  $40\pm 4^{\circ}\text{C}$ , até atingirem a massa constante. Decorrido esse tempo, elas foram novamente pesadas, determinando-se sua massa seca. A umidade na base seca foi determinada pela equação 6.

$$U (\%) = \frac{Mu - Ms}{Mu} \times 100 \quad \text{Equação (6)}$$

sendo,

U - umidade do corpo de prova na base seca (%);

mu - massa úmida do corpo de prova (g);

ms - massa seca do corpo de prova (g).

#### 3.5.2 Absorção de água

Para o ensaio de absorção de água obteve-se a massa inicial dos corpos de prova após o período de cura e com peso constante. Posteriormente, eles foram imersos em água, por 2 horas. Decorridos esse tempo, foram retirados da água, removendo-se o excesso de água com um pano. Posteriormente, determinou-se sua massa final. A porcentagem de absorção de água do corpo de prova foi determinada pela equação 7.



$$AA_{2h} = \frac{m_f - m_i}{m_i} \times 100 \quad \text{Equação (7)}$$

sendo,

AA<sub>2h</sub> - absorção de água após 2 horas de imersão em água (%);

m<sub>f</sub> - massa final do corpo de prova (g);

m<sub>i</sub> - massa inicial do corpo de prova (g).

### 3.5.3 Determinação da densidade aparente

Para a determinação da densidade aparente, as amostras foram armazenadas em estufa ventilada, à temperatura de 40±4 °C, até atingirem massa constante. Posteriormente, foram medidas com paquímetro, com exatidão de 0,01 mm e pesadas com precisão de 0,01g. A densidade aparente foi calculada de acordo com a equação 8.

$$D(kg/m^3) = \frac{m}{x \cdot y \cdot z} \times 10^3 \quad \text{Equação (8)}$$

Em que

*D* é a densidade aparente, em quilogramas por metro cúbico;

*m* é a massa do corpo de prova, em gramas;

*x*, *y* e *z* é o volume do corpo de prova, em milímetro cúbico;

A densidade é caracterizada pela média aritmética dos resultados das determinações realizadas nos três corpos de prova.

### 3.6 Propriedades mecânicas

#### 3.6.1 Determinação da resistência de ruptura à flexão (MOR)

Os corpos de prova de 40x40x160 mm (Figura 8a) foram acondicionados em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 40±4°C, até atingirem a massa constante. Em seguida, foram ensaiados em Máquina Universal de Ensaio, de acordo com a norma UE 13279-2 (EN, 2006b). A carga foi aplicada progressivamente no centro do vão até a ruptura, com velocidade de 0,04±0,02N/s (Figura 8b). A distância entre os apoios foi de 100 mm. A resistência à tração na flexão foi obtida por meio da equação 9.

$$\text{MOR} = \frac{3PL}{2wh^2} \quad \text{Equação(9)}$$

em que

MOR - resistência à flexão (MPa);

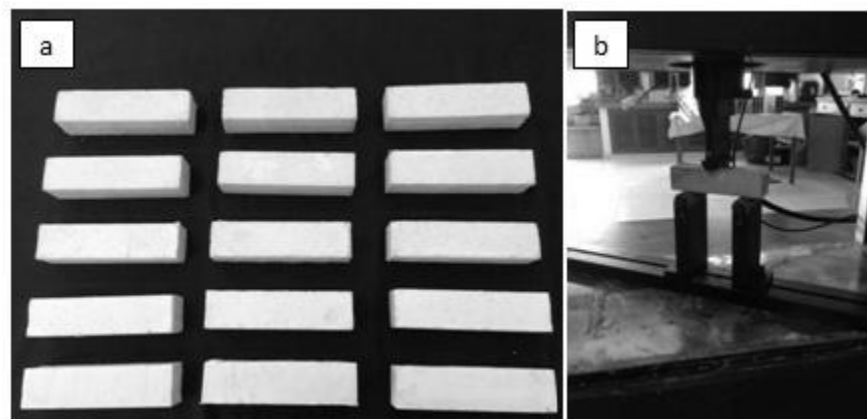
P - é a carga de ruptura média em N de, pelo menos, três valores obtidos;

L - distância entre os apoios (100 mm);

w - dimensão da largura do corpo de prova (40 mm);

h - dimensão da altura do corpo de prova (40 mm).

Figura 8- (a) Corpos de prova para realizar o ensaio de flexão; (b) ensaio de flexão



Fonte: Do Autor (2017).

### 3.6.2 Determinação da resistência e rigidez à ruptura na compressão

Após serem ensaiados para a determinação da resistência à ruptura na flexão, os corpos de prova (Figura 9a) de dimensões 40x40x160 mm foram cortados, com a ajuda de uma serra de fita de bancada, em dois cubos de tamanho 40x40x40 mm, um cubo em cada extremidade lateral, sendo, em seguida, ensaiados em Máquina Universal de Ensaio (Figura 9b) com aplicação de carga à velocidade de  $0,4 \pm 0,2$  N/s. A carga foi aplicada progressivamente sobre o corpo de prova até a ruptura. A resistência à ruptura na compressão foi obtida por meio da equação 10.

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad \text{Equação (10)}$$

em que

$R_c$  - resistência à compressão (MPa);

$F_c$  - é a carga máxima à fratura em N/mm<sup>2</sup>;

$A$  - Área do corpo de prova.

Avaliou-se a rigidez na compressão dos compósitos, avaliando-se o módulo de elasticidade, pela equação 11.

$$MO = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad \text{equação (11)}$$

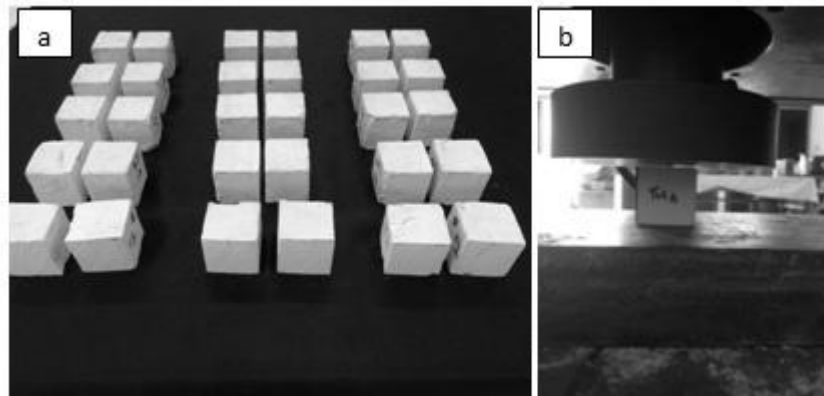
em que

MOE = módulo de elasticidade (MPa);

$\Delta\sigma$  = variação de tensão abaixo do limite de proporcionalidade;

$\Delta\varepsilon$  = variação de deformação abaixo do limite de proporcionalidade.

Figura 9 - (a) Corpos de prova para realizar o ensaio de compressão; (b) Ensaio de compressão



Fonte: Do Autor (2017).

### 3.7 Análise de isolamento térmico

O ensaio para a determinação do isolamento térmico consistiu em utilizar duas câmaras sobrepostas, como é mostrado na Figura 10a, fabricadas de *medium density particleboard* (MDP) de bagaço de cana, revestidas interiormente por uma camada de isopor de 2 cm e, mais internamente, por uma manta térmica, para que não houvesse interferência da temperatura ambiente na temperatura do interior das câmaras. Esse ensaio foi realizado em corpos de prova de 20 cm de comprimento por 20 cm de largura e 2 cm de espessura. As medidas de largura e comprimento escolhidas para a elaboração dos corpos de prova dos compósitos foram em razão da melhor disposição, devido ao tamanho da abertura para a passagem de calor nas câmaras térmicas. O equipamento é aquecido por uma lâmpada incandescente com temperatura controlável e variável até 90°C.

As temperaturas são registradas por sensores por meio de um equipamento Data Collector, modelo IM DC 100-01E, de fabricação da Yokogawa. Os corpos de prova foram posicionados no equipamento e o ensaio foi realizado simulando a exposição do material à temperatura em torno de 40°C. A razão de aquecimento foi de 1 °C/min e o ciclo de ensaio para cada corpo de prova foi de 3 horas, sendo três repetições por tratamento.

O ensaio forneceu os valores na base do padrão (lâmpada incandescente, termopar 7) e temperaturas na base (termopar 4) e no topo do corpo de prova (termopar 5), obtendo-se a variação de temperatura pela diferença do termopar 4 pelo termopar 5 (FIGURA 10b).

A condutividade térmica foi calculada considerando a radiação emitida pela fonte de calor, obtida com o auxílio de um aparelho medidor de radiação, variação de temperatura, calculada a partir das trinta últimas medições

registradas pelos termopares, na base e no topo dos corpos de prova e medidas de espessura dos corpos de prova, equação 12.

$$C = \frac{W \cdot e}{\Delta T} \quad \text{Equação (12)}$$

em que

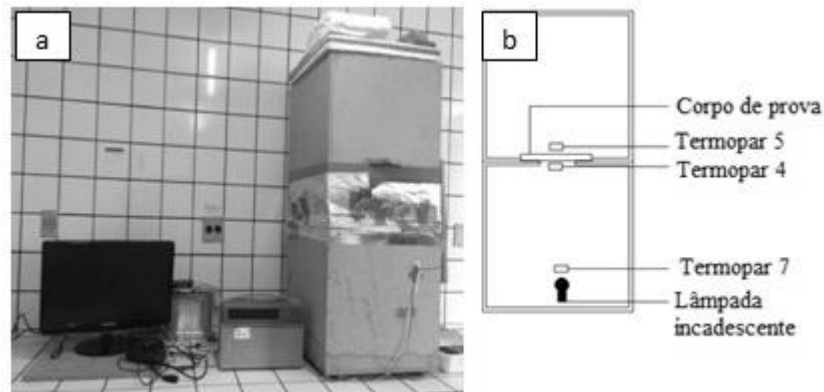
C - condutividade térmica (W/m<sup>o</sup>K);

W - voltagem da lâmpada (W);

e - espessura do corpo de prova (m);

$\Delta T$  - variação de temperatura entre as faces da amostra (°K).

Figura 10-Equipamento utilizado para análise do isolamento térmico



Fonte: Do Autor (2017).

### 3.8 Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada para caracterizar a superfície de ruptura dos corpos de prova após os ensaios

mecânicos na região de fratura, com o objetivo de analisar a interface entre a matriz de gesso e as partículas de reforço. As comparações entre os tipos de materiais de reforço foram realizadas no intuito de avaliar se o reforço foi arrancado ou rompido. Foi analisada, ainda, a ocorrência de espaços vazios entre reforço e matriz e se a matriz penetrou nos espaços vazios dos reforços.

As amostras passaram, inicialmente, por dois banhos de ouro, sendo, posteriormente, avaliadas mediante a utilização de um microscópio eletrônico de varredura da marca Zeiss Modelo DSM 940<sup>a</sup>, pertencente ao Departamento de Fitopatologia da UFLA.

### **3.9 Análise dos resultados**

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, arranjado em fatorial, sendo composto de quatro fatores (diferentes reforços) em cinco níveis (proporções de materiais: 0%, 7,5%, 15%, 22,5% e 30%). Foram realizadas três repetições. Para avaliar a variação dos valores de densidade e análises químicas das partículas lignocelulósicas foi realizado o teste de média Tukey, a 5% de significância. Os resultados das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos foram submetidas à análise de variância e regressão, a 5% de significância.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do gesso

#### 4.1.1 Massa unitária do gesso

A média dos valores encontrados da massa unitária do gesso (Tabela 2) foi de 781,31 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 2- Média da massa unitária do gesso a partir de três medições, NBR 12127/91.

| <b>Massa unitária (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Média (kg/m<sup>3</sup>)</b> |
|--|---------------------------------|
| 772,37                                   |                                 |
| 809,94                                   | 781,31±25,37                    |
| 761,61                                   |                                 |

Fonte: Do Autor (2017).

O gesso utilizado neste estudo apresentou o valor médio para a massa unitária igual a 781,31, atendendo às especificações da norma NBR 13207 (ABNT, 1994), que exige massa unitária acima de 700 kg/m<sup>3</sup>.



## 4.2 Caracterização dos reforços

### 4.2.1 Densidade básica

Os valores encontrados para a densidade básica da madeira de pinus, eucalipto, das partículas de bagaço de cana e embalagens cartonadas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Média da densidade básica dos reforços.

| <b>Tratamento</b>   | <b>Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)</b> |
|---------------------|--|
| Bagaço de cana      | 0,171±0,013A                               |
| Pinus               | 0,45±0,021B                                |
| Eucalipto           | 0,506±0,028B                               |
| Embalagem cartonada | 0,214±0,026A                               |

Fonte: Do Autor (2017).

Nota: Valores médios seguidos por letra minúscula, na mesma coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

O valor médio da densidade básica encontrada para o bagaço de cana de açúcar foi de 0,171 g/cm<sup>3</sup> e a do eucalipto, 0,506 g/cm<sup>3</sup>. Soares et al. (2017) encontraram os valores médios da densidade básica do bagaço de cana e da madeira de eucalipto inferiores aos encontrados no presente estudo, de 0,120 g/cm<sup>3</sup> e 0,450 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Protásio et al. (2013) encontraram baixa densidade básica para o bagaço de cana de açúcar, sendo 0,104 g/cm<sup>3</sup>, enquanto Ribeiro (2016) encontrou o valor médio de 0,166 g/cm<sup>3</sup>, valor próximo ao determinado neste estudo.

Silva et al. (2015) encontraram o valor médio da densidade básica da madeira de eucalipto de 0,506, igual à encontrada no presente estudo, enquanto Bianche et al. (2012) encontraram valor superior (0,560 g/cm<sup>3</sup>).

A densidade básica média encontrada para o pinus foi de 0,45 g/cm<sup>3</sup>, valor superior ao encontrado por Melo et al. (2013), que obtiveram o valor médio de 0,348±0,04 g/cm<sup>3</sup> e superior ao observado por Mattos et al. (2011) para a mesma espécie (0,41 g/cm<sup>3</sup>).

Mendes (2011) obteve valores médios para a densidade básica das madeiras de eucalipto e pinus e para o bagaço de cana de 0,560, 0,502 e 0,098 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Essa variabilidade pode ser explicada por diversos fatores, como diferenças de idades entre os indivíduos analisados, procedência, local de origem, espaçamento e taxa de crescimento entre gêneros e espécies e, até mesmo, entre a mesma espécie (VALÉRIO et al., 2008).

De acordo com o proposto pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT,1985), madeiras com densidade básica inferiores a 0,50 g/cm<sup>3</sup> são classificadas como de baixa densidade; madeiras com densidade básica no intervalo entre 0,50 e 0,72 g/cm<sup>3</sup> são classificadas como de média densidade e madeira com densidade básica acima de 0,72 g/cm<sup>3</sup> são classificadas como de alta densidade. Sendo assim, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta média densidade básica, enquanto a espécie *Pinus oocarpa* apresenta madeira de baixa densidade básica.

A densidade básica da embalagem cartonada apresentou valor de 0,214 g/cm<sup>3</sup>.

As partículas lignocelulósicas, quando incorporadas em compósitos, são responsáveis por conferir leveza ao material (MAGALHÃES; ALMEIDA, 2010) e isto acontece devido ao fato de apresentarem, na maioria das vezes, densidade básica menor do que a matriz, o que se aplica neste estudo, pois o

gesso apresenta densidade básica, segundo a NBR 13207 (ABNT, 1994), igual a 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

Outra implicação da densidade básica das partículas lignocelulósicas é com relação ao volume, sendo que quanto menor a densidade, maior será o volume de partículas dentro do compósito para a mesma massa, podendo afetar sua qualidade físico-mecânica (IWAKIRI, 2005).

#### 4.2.2 Análises químicas

Os resultados das análises químicas das partículas lignocelulósicas estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Resultados quantitativos dos componentes químicos das partículas lignocelulósicas.

| <b>Tratamento</b> | <b>Bagaço de cana</b> | <b>Pinus</b> | <b>Eucalipto</b> |
|-------------------|-----------------------|--------------|------------------|
| Holocelulose (%)  | 62,15±0,69A           | 75,47±1,08B  | 76,6±0,18B       |
| Celulose (%)      | 30,71±0,1A            | 51,86±0,37C  | 44,79±0,18B      |
| Hemicelulose (%)  | 31,43±0,1B            | 23,61±0,37A  | 31,81±0,18B      |
| Extrativos (%)    | 20,87±0,21C           | 5,43±0,22A   | 6,67±0,24B       |
| Lignina (%)       | 21,12±0,28A           | 28,62±0,22C  | 27,18±0,95B      |
| Cinzas (%)        | 0,93±0,19B            | 0,26±0,05A   | 1,1±0,27B        |

Fonte: Do Autor (2017).

Nota: Valores médios seguidos por letra minúscula, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

O bagaço de cana de açúcar apresentou elevado teor de extrativos totais, comparado amadeira de pinus e eucalipto. Isso também foi relatado por Soares et al. (2017), que caracterizaram quimicamente a madeira de eucalipto e o

bagaço de cana, encontrando os valores de 5,11% e 19,59%, respectivamente. Segundo Protásio et al. (2013), os extrativos são um grupo de substâncias químicas heterogêneas relacionadas aos mecanismos de defesa da planta e influenciadas por fatores genéticos e edafoclimáticos. Paula et al. (2011) e Protásio et al. (2013) também reportaram altos teores de extrativos totais para o bagaço de cana de açúcar, 32% e 17%, respectivamente. O eucalipto apresentou teor de extrativos, em média, de 6,67%, Lima et al. (2007) estudaram a madeira de clones de *Eucalyptus*, encontrando valor médio de extrativos totais variando entre 4,79% e 5,54%. Já Medeiros et al. (2016) encontraram valores médios para o teor de extrativos de 6,51%, sendo este mais próximo ao valor encontrado no presente estudo.

O teor de cinzas do bagaço de cana de açúcar foi superior ao obtido para a madeira de pinus e inferior ao obtido para a madeira de eucalipto. Paula et al. (2011) e Protásio et al. (2013) reportaram teores de cinzas para o bagaço de cana-de-açúcar de 0,8% e 1,0%, respectivamente, valores próximos ao encontrado neste estudo.

O bagaço de cana apresentou teor de lignina, em média, de 21,12%, valor superior ao encontrado por Protásio et al. (2013) (15,72%) e semelhante ao encontrado por Paula et al. (2011) (20,88%). O teor de holocelulose encontrado para o bagaço de cana (62,15%) foi inferior ao encontrado por Protásio et al. (2015) que, ao avaliarem a estabilidade térmica de painéis aglomerados produzidos com distintas porcentagens de bagaço de cana de açúcar em associação com a madeira de *Pinus* spp., encontraram valor de 71,11%.

O pinus apresentou teor de lignina, em média, de 28,62%, valor semelhante ao encontrado por Melo, Nascimento e Melo (2005) que, ao estudarem a madeira de *Pinus oocarpa*, encontraram valores de 25,18%.

O teor de holocelulose encontrado para a madeira de *Pinus* foi de 75,47%. Klock (2000) encontrou 68,00% para a madeira de *Pinus taeda*; Rodrigues,

Hillig e Machado(2010) encontraram 65,21% para a madeira de *Pinus oocarpa* e Gorski (2014) encontrou 63,09% para uma mistura de espécies de Pinus. O teor de cinzas encontrado para o pinus (0,26%) foi inferior ao encontrado por Rios et al. (2016) (0,62%), o qual foi similar aos encontrados por Furtado et al. (2012) que, ao estudarem a correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades, encontraram teor de cinzas de 0,76%.

O eucalipto apresentou teor de lignina, em média, de 27,18%, semelhante ao encontrado por Medeiros et al. (2016) que, ao estudarem as propriedades físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus urograndis*, relataram teores de lignina de 26,7%.

O teor de holocelulose encontrado para a madeira de eucalipto (76,6%) foi superior aos relatados por Braz et al. (2014), que avaliaram as propriedades químicas de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* entre 30 e 35 meses de idade, encontrando valores médios variando entre 66,08% e 69,23%. Por sua vez, estes valores foram similares aos encontrados por Medeiros et al.(2016), que avaliaram as propriedades físicas e químicas das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urograndis* cultivadas no sul do estado do Piauí, obtendo valores médios, para os teores de holocelulose, de 66,12%. O teor de cinzas encontrado para o eucalipto (1,1%) foi similar ao relatado por Moulin et al. (2015) que, estudando clones de eucalipto em diferentes espaçamentos, obtiveram valores médios variando entre 1,29% e 1,48% para o teor de cinzas. Já Medeiros et al. (2016) relataram valor médio de 0,67%.

Espera-se que os materiais com alto teor de lignina apresentem maior rigidez, maior resistência à compressão e menor absorção de água, visto que, segundo Bhatia, Johri e Ahmad (2012), a lignina confere impermeabilidade, rigidez e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais. A presença de grande quantidade de extrativos nos materiais lignocelulósicos

pode levar a dificuldades de interação entre a matriz e o reforço, uma vez que esses compostos químicos atuam bloqueando os espaços vazios do material lignocelulósico, impedindo o contato entre ambos.

Já materiais com altos teores de carboidratos tendem a apresentar maiores valores de umidade e absorção de água, uma vez que têm grande número de sítios hidroxílicos livres que têm potencial de se ligarem com a água. De acordo com Brito e Barrichelo (1979), os altos teores de cinzas podem ser fator prejudicial e, em alguns casos, limitante ao uso de matérias-primas lignocelulósicas, pois elevados teores podem prover desgaste excessivo em equipamentos cortantes, tais como moinhos e serras.

#### 4.2.3 Tamanho das partículas

Os valores médios do comprimento, espessura e índice de esbeltez para cada partícula lignocelulósica estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Caracterização morfológica das partículas lignocelulósicas.

| <b>Tratamentos</b> | <b>Bagaço de cana</b> | <b>Pinus</b> | <b>Eucalipto</b> |
|--------------------|-----------------------|--------------|------------------|
| Comprimento (mm)   | 1,9±1,53A             | 1,94±0,59A   | 5,45±1,69B       |
| Espessura (mm)     | 0,52±0,23A            | 0,78±0,27B   | 0,86±0,35B       |
| Índice de esbeltez | 4,25±3,29A            | 2,93±1,95A   | 7,31±4,01B       |

Fonte: Do Autor (2017).

Nota: Valores médios seguidos por letra minúscula, na mesma linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

O eucalipto apresentou o maior comprimento, a maior espessura e o maior índice de esbeltez, enquanto o bagaço de cana apresentou os menores

valores para o comprimento e a espessura. O menor valor apresentado para o índice de esbeltez foi o das partículas de pinus.

Segundo Savastano Júnior, Agopyan e Oliveira(1997), a relação entre o comprimento e a espessura das fibras influencia a transferência de esforços para a matriz. Quanto maior o índice de esbeltez, maior a aderência entre a fibra e a matriz.

Espera-se que os reforços com maiores índices de esbeltez venham a apresentar maior resistência mecânica, visto que, segundo Iwakiri (2005), a razão de esbeltez irá influenciar significativamente a qualidade dos compósitos, sendo que índices de esbeltez maiores resultaram em propriedades de flexão estática superiores.

### **4.3 Compósitos de gesso**

#### **4.3.1 Relação água e gesso e massa unitária da pasta de gesso**

As razões água/gesso obtidas, bem como os resultados da massa unitária da pasta de gesso para as diferentes porcentagens incorporadas com bagaço de cana, pinus, eucalipto e embalagens cartonadas trituradas, estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6- Razões água/gesso e massa unitária da pasta de gesso.

|                            | % dos reforços | Fator<br>(a/g) | Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| <b>Controle</b>            | 0              | 0,6            | 1584,85                             |
|                            | 7,5            | 0,7            | 1158,29                             |
| <b>Bagaço de cana</b>      | 15             | 0,8            | 1096,51                             |
|                            | 22,5           | 0,8            | 1096,51                             |
|                            | 30             | 1              | 1057,82                             |
|                            | 7,5            | 0,6            | 1584,85                             |
|                            |                |                |                                     |
| <b>Pinus</b>               | 15             | 0,75           | 1127,4                              |
|                            | 22,5           | 0,8            | 1096,51                             |
|                            | 30             | 0,8            | 1096,51                             |
| <b>Eucalipto</b>           | 7,5            | 0,6            | 1584,85                             |
|                            | 15             | 0,7            | 1158,29                             |
|                            | 22,5           | 0,75           | 1127,4                              |
|                            | 30             | 0,8            | 1096,51                             |
|                            |                |                |                                     |
| <b>Embalagem cartonada</b> | 7,5            | 0,6            | 1584,85                             |
|                            | 15             | 0,75           | 1127,4                              |
|                            | 22,5           | 0,8            | 1096,51                             |
|                            | 30             | 0,8            | 1096,51                             |

Fonte: Do Autor (2017).

A razão água e gesso é maior com o aumento das incorporações dos reforços, visto que esse aumento ocasiona perda de trabalhabilidade, sendo necessária uma modificação da relação água-gesso. Quanto menor a razão água/gesso, maior a massa unitária da pasta de gesso.

A quantidade de água utilizada tem influência direta na resistência mecânica e na rigidez do corpo rígido de gesso que depende do encadeamento dos cristais di-idratados e da porosidade resultante (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2008). A presença de porosidade na microestrutura de blocos rígidos de gesso está relacionada, em geral, com a quantidade de água, uma vez que



quanto maior a quantidade de água, maior será a quantidade de vazios (poros) deixados pela água evaporada na secagem. O aumento dos poros diminui as propriedades mecânicas, como resistência à compressão e flexão, entretanto, diminui a condutividade térmica do material, já que o ar que fica nos poros tem baixa condutividade térmica (0,023W/m.K), constituindo um elemento muito resistente à passagem de calor. Oliveira et al. (2012) incorporaram vermiculita e etileno acetato de vinila (EVA) em compósitos de gesso, estudando diferentes relações a/g, 0,8; 0,9 e 1,0, concluindo que quanto maior a relação a/g menores foram as resistências, sendo que a relação água/gesso interfere mais na massa específica e na resistência à compressão dos compósitos do que o percentual de adição dos agregados nos níveis estudados.

Morales-Conde, Rodríguez-Liñán e Pedreño-Rojas (2016) incorporaram, na matriz de gesso, resíduos de madeira de demolição variando de 0 a 40%. A razão de mistura ótima de água e gesso foi determinada de acordo com o procedimento descrito na norma EN 13279-2, sendo a razão água/gesso igual a 0,55 mais favorável nas misturas cuja proporção de resíduos adicionados não excedia a 10% (isto é, 2,5%, 5% e 10%), 0,80 para misturas com 20% de resíduos adicionados, e 1,25 para as misturas às quais foram adicionados 40% dos resíduos.

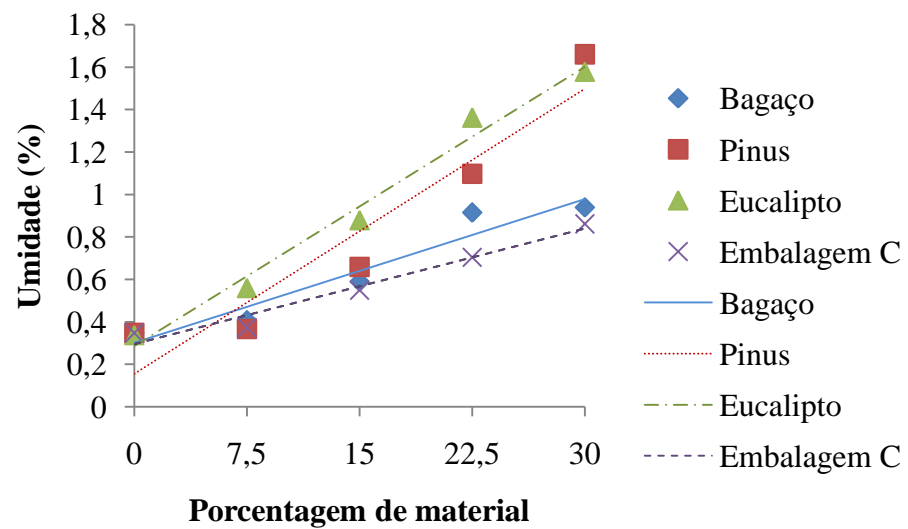
Serna et al. (2012) incorporaram na matriz de gesso diferentes porcentagens de partículas de borracha de pneu, estudando diferentes razões de água e gesso (0,6; 0,7 e 0,8), concluindo que a adição de partículas de borracha levou a uma diminuição nas propriedades mecânica dos compósitos, porém, as variações na relação água/gesso foram mais relevantes, em termos de propriedades mecânicas, do que a incorporações de partículas de borracha.

#### 4.4 Ensaios físicos

##### 4.4.1 Umidade dos compósitos

Na Figura 11 podem-se observar os valores médios da umidade na base seca dos compósitos produzidos com partículas lignocelulósicas e embalagens cartonadas trituradas em diferentes níveis de reforço.

Figura 11- Umidade dos compósitos



Fonte: Do Autor (2017).

Tabela 7- Parâmetros da análise de regressão para a umidade dos compósitos.

|                            | <b>a</b> | <b>B</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>Fc</b> | <b>CV%</b> |
|----------------------------|----------|----------|----------------------|-----------|------------|
| <b>Bagaço de cana</b>      | 0,301    | 0,022    | 0,93                 | 4,37*     | 43,33      |
| <b>Pinus</b>               | 0,26     | 0,029    | 0,90                 | 7,95*     | 47,28      |
| <b>Eucalipto</b>           | 0,287    | 0,043    | 0,98                 | 15,41*    | 45,48      |
| <b>Embalagem cartonada</b> | 0,295    | 0,0181   | 0,96                 | 2,72*     | 38,55      |

Fonte: Do Autor (2017).

\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância a/b/c = Parâmetros da regressão; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; Fc = F calculado; CV = coeficiente de variação.

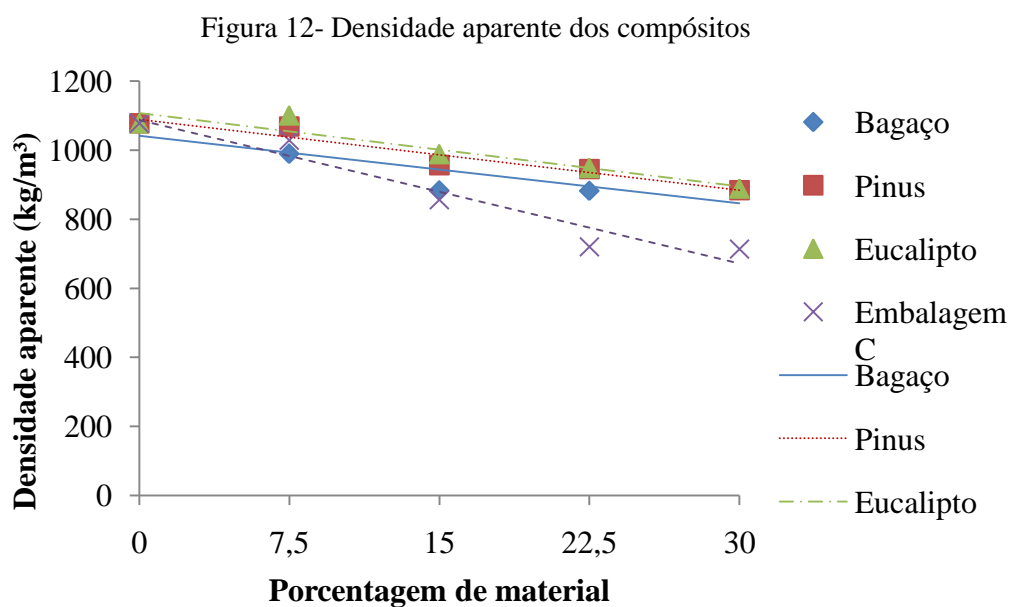
Para a umidade, os resultados na Figura 11 mostram que o aumento da porcentagem de reforços ocasionou um aumento na umidade do compósito, devido à natureza higroscópica das fibras vegetais. Os valores de umidade encontrados variaram de 0,34% a 1,66 %. Observa-se que a umidade não aumentou mais de 2%, o que, segundo Chinta, Katkare Mirji Mahamed (2013), pode ser considerado como controlado. Os compósitos reforçados com pinus e eucalipto apresentaram os maiores valores de umidade, seguidos dos compósitos reforçados com bagaço de cana e embalagem cartonada triturada.

De acordo com Guimarães Junior et al. (2013), esse fenômeno ocorre porque os materiais lignocelulósicos apresentam grupos hidroxílicos (OH-) livres, principalmente na região amorfa da celulose e das hemiceluloses. Com aumento das porcentagens desses materiais nos compósitos, eles estariam mais propensos a adsorverem umidade.

Chinta, Katkare Mirji Mahamed (2013), ao estudarem compósitos de gesso reforçados com fibras vegetais (coco, juta, lã, algodão e banana), observaram que à medida que se aumentava a porcentagem de fibras, a umidade aumentava gradualmente. Os autores encontraram valores de umidade entre 0,48% a 1,46%, estando próximos dos encontrados no presente estudo.

#### 4.4.2 Densidade aparente dos compósitos

Na Figura 12 podem-se observar os valores médios da densidade aparente dos compósitos produzidos com partículas lignocelulósicas e embalagens cartonadas trituradas em diferentes níveis de reforço.



Fonte: Do Autor (2017).

Tabela 8- Parâmetros da análise de regressão para a densidade dos compósitos.

|                            | <b>a</b> | <b>b</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>Fc</b> | <b>CV%</b> |
|----------------------------|----------|----------|----------------------|-----------|------------|
| <b>Bagaço de cana</b>      | 1041     | -6,53    | 0,778                | 149,59*   | 9,31       |
| <b>Pinus</b>               | 1088     | -6,80    | 0,927                | 133,56*   | 8,5        |
| <b>Eucalipto</b>           | 1106     | -7,07    | 0,897                | 178,81*   | 8,84       |
| <b>Embalagem cartonada</b> | 1086     | -13,83   | 0,935                | 704,68*   | 19,29      |

Fonte: Do Autor (2017).

\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância a/b/c = Parâmetros da regressão; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; Fc = F calculado; CV = coeficiente de variação.

Para a densidade aparente, os resultados na Figura 12 mostram que, em geral, o aumento da porcentagem de reforços ocasiona redução na densidade da matriz de gesso. A densidade aparente dos compósitos variou de 713,44 a 1.077,88 kg/m<sup>3</sup> e o modelo de maior densidade apresentada foi a referência, seguida de eucalipto, pinus, bagaço de cana e embalagem cartonada triturada. Deve-se notar que essa diminuição ocorre uma vez que a massa específica do gesso é maior do que a dos diferentes reforços que foram incorporados e pelo fato de a relação água/gesso ser maior com o aumento dos níveis de incorporação dos reforços, visto que esse aumento produz uma matriz mais porosa e menos densa.

Rivero, Guzmán Báez e Navarro(2014) incorporaram borracha na matriz de gesso, encontrando, para a densidade específica, valores entre 880 e 1.003 kg/m<sup>3</sup>, sendo constatada também diminuição na densidade aparente, à medida que se incorporavam partículas de borracha.

Morales-Conde, Rodríguez-Liñán e Pedreño-Rojas(2016) encontraram valores para a densidade específica entre 602 e 1.300 kg/m<sup>3</sup>, quando incorporados resíduos de madeira de demolição em compósitos à base de gesso, sendo que o aumento da porcentagem de aditivos ocasionava uma redução na densidade do gesso.

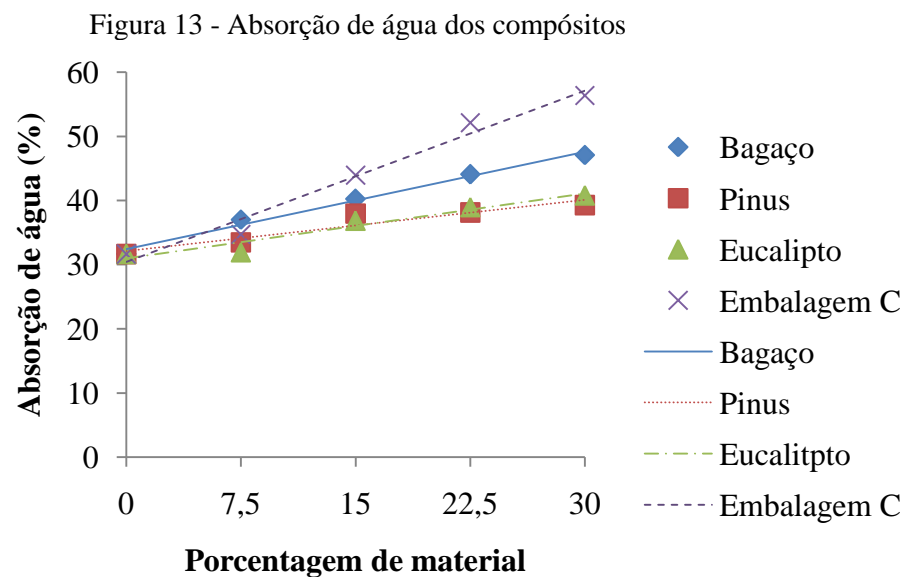
Khadiran et al. (2016) estudaram a incorporação de diferentes porcentagens de nanocápsulas de n-octadecano em compósitos à base de gesso, observando que a densidade aparente diminuía à medida que a porcentagem de massa das nanocápsulas aumentou, devido à menor densidade da nanocápsulas de n-octadecano, em comparação com a do gesso. Os valores encontrados de densidade aparente foram entre 900 a 1.900 kg/m<sup>3</sup>.

Chinta, Katkar e Jafer (2013) estudaram compósitos de gesso reforçados com diferentes fibras naturais (coco, juta, lã, algodão e banana), concluindo que a densidade diminuía quando aumentava o volume das fibras, tornando-se um

material com menos peso. Os valores encontrados de densidade média foram entre 950 a 1.460 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.4.3 Absorção de água dos compósitos

Na Figura 13 podem-se observar os valores médios da absorção de água dos compósitos produzidos com partículas lignocelulósicas e embalagens cartonadas trituradas em diferentes níveis de reforço.



Fonte: Do Autor (2017).

Tabela 9- Parâmetros da análise de regressão para a absorção de água dos compósitos.

|                            | <b>a</b> | <b>b</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>Fc</b> | <b>CV%</b> |
|----------------------------|----------|----------|----------------------|-----------|------------|
| <b>Bagaço de cana</b>      | 32,44    | 0,505    | 0,988                | 26,41*    | 15,06      |
| <b>Pinus</b>               | 32,12    | 0,265    | 0,893                | 9,38*     | 9,23       |
| <b>Eucalipto</b>           | 30,98    | 0,337    | 0,942                | 15,3*     | 11,43      |
| <b>Embalagem cartonada</b> | 30,41    | 0,890    | 0,976                | 96,33*    | 24,41      |

Fonte: Do Autor (2017).

\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância a/b/c = Parâmetros da regressão; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; Fc = F calculado; CV = coeficiente de variação.

Para a absorção de água, os resultados mostrados na Figura 13 mostram que o aumento da porcentagem de reforços ocasionou um aumento na absorção de água, variando de 31,67% a 56,37%.

Os compósitos reforçados com bagaço de cana apresentaram valores de absorção de água maiores do que os compósitos reforçados com pinus e eucalipto. Isto pode ser explicado por meio da análise química, tendo o bagaço de cana-de-açúcar apresentado teores de lignina menores do que os encontrados para o pinus e eucalipto, e o fato de a lignina ter caráter hidrofóbico explica a menor absorção de água (KHEDARI et al., 2004).

Haselein et al. (2002) confeccionaram chapas aglomeradas, utilizando gesso como material cimentante, papel reciclável dissociado (jornal e offset) e partículas de madeira de pinus como reforços. Ao avaliarem a absorção de água, encontraram, para a referência, valor médio de 28,73%, próximo ao encontrado neste estudo para os compósitos sem incorporação de reforços (31,67%).

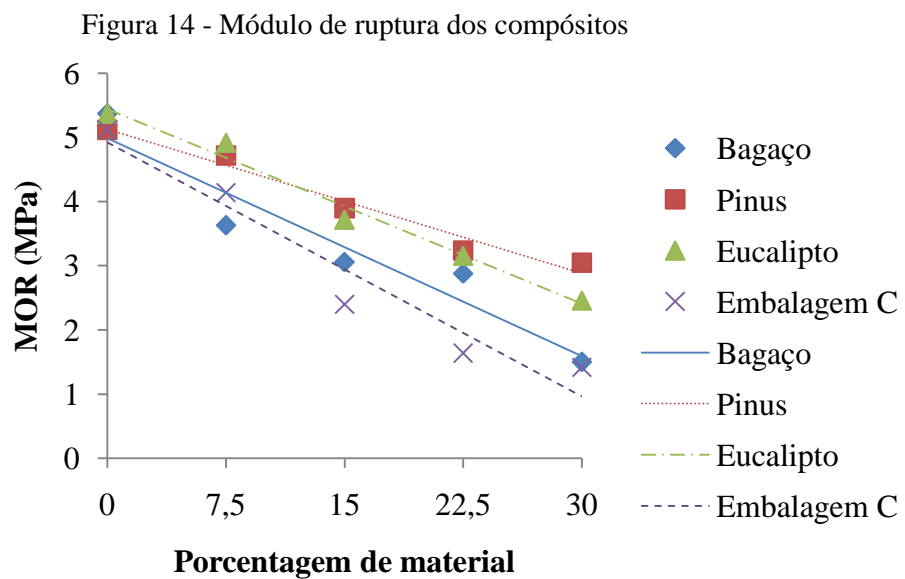
Magalhães e Almeida(2010) pesquisaram um aditivo natural (mucilagem de cactos) adicionado em pastas de gesso. Os autores encontraram, para a absorção de água do tratamento referência, 27,64% e

concluíram que as mucilagens dos cactos estudados diminuiram a taxa de absorção de água dos corpos de prova moldados.

## 4.5 Ensaios mecânicos

### 4.5.1 Resistência à flexão

Na Figura 14 podem-se observar os valores médios do módulo de ruptura obtidos para os compósitos em função da adição de diferentes níveis de porcentagens dos reforços.



Fonte: Do Autor (2017).



Tabela 10- Parâmetros da análise de regressão para MOR dos compósitos.

|                            | <b>a</b> | <b>b</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>Fc</b> | <b>CV%</b> |
|----------------------------|----------|----------|----------------------|-----------|------------|
| <b>Bagaço de cana</b>      | 4,986    | -0,113   | 0,916                | 79,62*    | 42,65      |
| <b>Pinus</b>               | 5,13     | -0,0749  | 0,968                | 33,03*    | 22,54      |
| <b>Eucalipto</b>           | 5,442    | -0,101   | 0,981                | 59,3*     | 30,81      |
| <b>Embalagem cartonada</b> | 4,924    | -0,132   | 0,934                | 106,22*   | 54,99      |

Fonte: Do Autor (2017).

\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância a/b/c = Parâmetros da regressão; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; Fc = F calculado; CV = coeficiente de variação.

Os resultados mostrados na Figura 14 mostram que os compósitos sem adição de reforços apresentam maior resistência à flexão, a qual diminui progressivamente com o aumento da porcentagem dos reforços. Esta diminuição, provavelmente, ocorre devido ao fato de a densidade dos materiais lignocelulósicos ser baixa e, segundo Markwardt e Wilson (1935), ser altamente correlata com a resistência mecânica. Contudo, todos os tratamentos atendem ao valor mínimo exigido pela norma EN 13279-1 (EN, 2006a), que é de 1MPa.

Os valores de resistência à flexão dos compósitos variaram de 1,42 a 5,37 Mpa. Os valores de referência, ou seja, compósitos sem adição de reforços, apresentaram valores de resistência à flexão média de 5,37 MPa, próximo ao encontrado por Nindiyasari et al. (2016), Rivero, Guzmán Báez e Navarro (2014) e Serna et al.(2012), que encontraram 5,65; 5,11 e 5,45 Mpa, respectivamente.

Valores semelhantes foram encontrados por Dai e Fan (2015) que, ao adicionarem serragem de madeira na matriz de gesso, diminuíram a resistência à flexão em até 64%, sendo os valores médios de 1,59 até 4,43 MPa. Os autores relataram que esta redução pode estar relacionada à absorção de água da serragem.

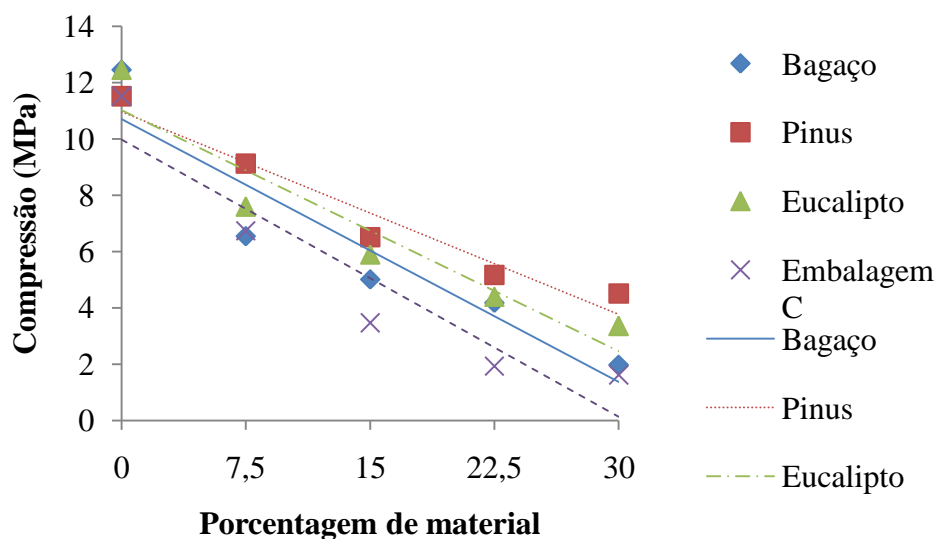
Silva et al. (2014) incorporaram à matriz de gesso fibras naturais e fibras sintéticas, encontrando valores de resistência à flexão média entre 2,4 a 5,1 MPa, semelhantes ao encontrado neste estudo. Os autores concluíram que as misturas com fibras de vidro e com fibras de basalto apresentaram os melhores resultados de resistência à flexão. Eles também relataram que mesmo as fibras dotadas de piores características mecânicas conferiram ao compósito um comportamento mais dúctil, quando comparadas com a mistura sem fibras.

Já Iucolano et al. (2015) encontraram valores menores ao incorporarem diferentes porcentagens (1%, 2% e 3%) de fibras de abacá em matriz de gesso, sendo os valores para a resistência à flexão média entre 2,46 a 2,95 MPa.

#### **4.5.2 Resistência à compressão**

Nas Figuras 15 e 16 podem-se observar os valores médios da resistência na força máxima à compressão e o módulo de elasticidade na compressão, respectivamente, obtidos para os compósitos em função da adição de diferentes níveis de porcentagens dos reforços.

Figura 15- Resistência à compressão dos compósitos



Fonte: DoAutor (2017).

Tabela 11- Parâmetros da análise de regressão para a resistência à compressão dos compósitos.

|                            | <b>a</b> | <b>b</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>Fc</b> | <b>CV%</b> |
|----------------------------|----------|----------|----------------------|-----------|------------|
| <b>Bagaço de cana</b>      | 10,7     | -0,31    | 0,871                | 793,29*   | 65,48      |
| <b>Pinus</b>               | 10,96    | -0,23    | 0,948                | 433,29*   | 39,61      |
| <b>Eucalipto</b>           | 11,02    | -0,28    | 0,896                | 646,33*   | 52,98      |
| <b>Embalagem cartonada</b> | 9,98     | -0,3282  | 0,881                | 873,84*   | 81,97      |

Fonte: Do Autor (2017).

\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância a/b/c = Parâmetros da regressão; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; Fc = F calculado; CV = coeficiente de variação.

Com relação à resistência mecânica à compressão, os valores médios dos novos compósitos diminuem com o aumento da incorporação dos reforços. A resistência mecânica do gesso é inversamente proporcional à quantidade de água utilizada para o seu amassamento.

Na literatura é encontrada grande variação de valores de resistência à compressão para as diversas relações água/gesso utilizadas. Dias e Cincoto (1995) realizaram um estudo com diferentes relações água/gesso, obtendo resultados de resistência à compressão que variavam desde 3,76 a 16,52 Mpa, para o gesso sem adições.

Neste estudo, os valores de resistência à compressão variaram de 1,62 a 12,46 MPa, tendo os compósitos sem adição de reforços apresentado o maior valor, 12,46 MPa.

Morales-Conde, Rodríguez-Liñán e Pedreño-Rojas (2016) incorporaram resíduos de madeira de demolição em compósitos a base de gesso, relatando que os valores médios da resistência mecânica à compressão dos compósitos caem como aumento do percentual dos resíduos de madeira adicionados. Eles encontraram valores para a resistência à compressão variando entre 2,13 a 8,81 MPa, sendo que, quando adicionados 40% de resíduos de madeira, houve uma redução de 78% na resistência à compressão. Neste trabalho observou-se redução desta propriedade similar à literatura, sendo de 84%, 61%, 73% e 86%, para bagaço de cana, pinus, eucalipto e embalagem cartonada, respectivamente.

Os compósitos com incorporação de 30% de bagaço de cana produziram uma redução de 84,11% na resistência à compressão, passando esta a apresentar 1,98 MPa, não cumprindo a norma EN 13279-1 (EN, 2006a), que define 2 MPa como o requisito mínimo. No entanto, as porcentagens de 7,5%, 15% e 22,55% de incorporação de bagaço de cana ficaram dentro do limite estipulado pela norma EN 13279-1 (EN, 2006a). Substituindo os valores normatizados na

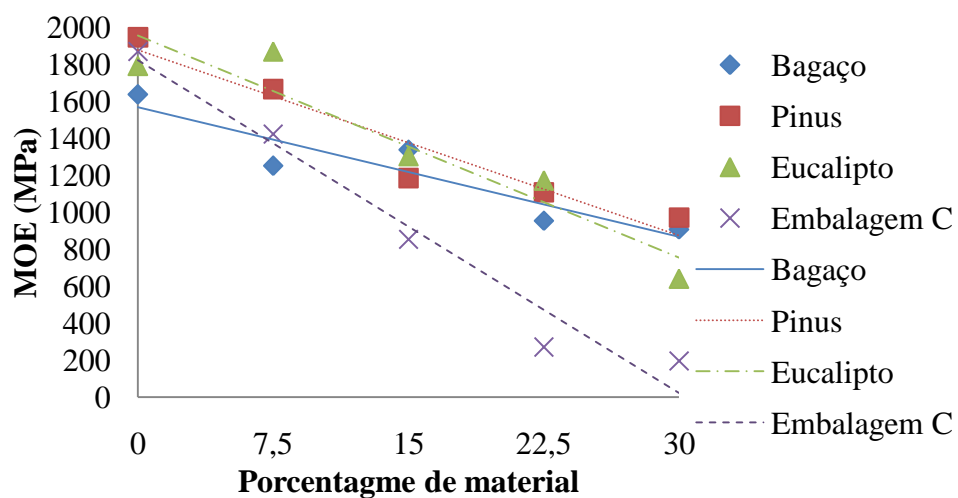
equação de regressão para embalagem cartonada, observou-se que o valor máximo de inserção desse material nos compósitos é de 24,3%.

Todos os teores de incorporação de partículas de pinus e eucalipto, apesar de diminuírem progressivamente a resistência à compressão, atenderam à norma EN 13279-1 (EN, 2006a).

É importante observar que os reforços lignocelulósicos que apresentaram os menores valores em porcentagem de lignina obtiveram os menores valores de resistência à compressão, visto que a lignina fornece resistência à compressão ao tecido celular e às fibras, enrijecendo a parede celular.

Na Tabela 12 estão apresentados os parâmetros da análise de regressão para rigidez na compressão. Para o módulo de elasticidade, os resultados na Figura 16 mostram que o aumento da porcentagem de reforços levou a uma diminuição do módulo de elasticidade dos compósitos, uma vez que, segundo Magalhães (2009), as fibras lignocelulósicas apresentam baixo módulo de elasticidade, o que contribui para trabalharem no estágio pós-fissurado com grande absorção de energia e resistência a esforços dinâmicos. Os reforços que apresentaram maiores porcentagens de lignina (pinus e eucalipto) tiveram maiores módulos de elasticidade, visto que, segundo Van Soest (1981), a lignina confere rigidez à parede celular.

Figura 16- Módulo de elasticidade dos compósitos



Fonte: Do Autor (2017).

Tabela 12- Parâmetros da análise de regressão para os compósitos.

|                            | <b>A</b> | <b>b</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>Fc</b> | <b>CV%</b> |
|----------------------------|----------|----------|----------------------|-----------|------------|
| <b>Bagaço de cana</b>      | 1568,91  | -23,407  | 0,8635               | 4,9*      | 21,94      |
| <b>Pinus</b>               | 1877,54  | -33,438  | 0,9231               | 9,5*      | 26,83      |
| <b>Eucalipto</b>           | 1863,13  | -35,87   | 0,8168               | 12,4*     | 33,02      |
| <b>Embalagem cartonada</b> | 1683,37  | -52,78   | 0,9671               | 22,69*    | 70,3       |

Fonte: Do Autor (2017).

\* Análise de regressão significativa, a 5% de significância a/b/c = Parâmetros da regressão; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; Fc = F calculado; CV = coeficiente de variação.

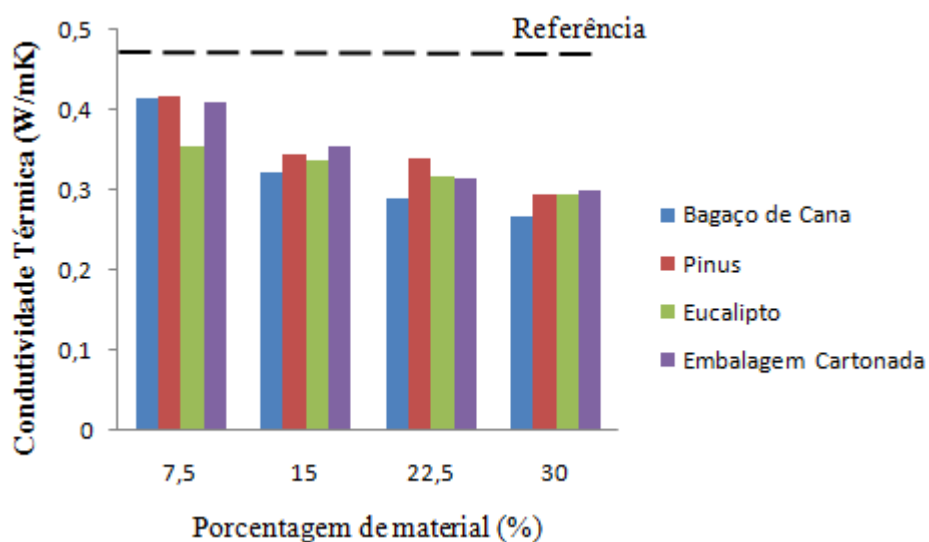
Camões et al. (2010) encontraram, para o módulo de elasticidade na compressão, 823,3 a 1899,6 Mpa, ao incorporarem cortiça e fibras têxteis em compósitos à base de gesso da dessulfuração de gases de combustão das centrais

termoelétricas. Estes valores são semelhantes aos encontrados neste estudo para as incorporações de bagaço de cana, pinus e eucalipto.

#### 4.6 Conforto térmico

Na Figura 17 podem-se observar os valores médios da condutividade térmica obtidos para os compósitos, em função da adição de diferentes porcentagens de reforços.

Figura 17- Condutividade térmica dos compósitos



Fonte: Do Autor (2017).

Nota-se que um aumento na porcentagem dos reforços diminui a condutividade do compósito, proporcionando, assim, um material com maior isolamento térmico. Isso pode ser explicado pelo fato de os materiais lignocelulósicos apresentarem coeficientes de condutibilidade inferiores ao do

gesso. Segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), a condutividade térmica do gesso é de 0,5 W/m.K, enquanto a de madeiras varia de 0,12 a 0,29 W/m.K.

Outro fator que pode contribuir para a ocorrência desta tendência é que a diminuição da condutividade térmica do compósito está ligada a uma queda na densidade da mistura, ou seja, quanto maior a razão A/G e maior a porcentagem dos diferentes reforços, menor foi a densidade dos compósitos e maior foi o isolamento térmico. Isso porque há ocorrência de maiores espaços vazios que são ocupados por ar, o qual apresenta baixo valor de condutibilidade térmica (VIVALDINI et al., 2014).

Portanto, os compósitos com incorporações de bagaço de cana, pinus, eucalipto e embalagem cartonada consistindo de 30% obtiveram as menores densidades e os melhores desempenhos térmicos, com redução de 43,07%, 37,1%, 37,31% e 36,03%, em relação ao material de referência.

Comportamento semelhante foi obtido por Braiek et al. (2017), que estudaram as propriedades termofísicas de compósitos gesso/fibras de palmeira, variando o teor de material lignocelulósicos de 0 a 20 %, encontrando, para a condutividade térmica do gesso puro, média de 0,452 W/m.K, valor próximo ao encontrado neste estudo (0,469 W/m.K). Para os compósitos preenchidos com 20% de fibras de palmeira, a condutividade térmica foi 61,5% menor do que a do gesso puro.

Já Morales-Conde, Rodríguez-Liñán e Pedreño-Rojas (2016), ao incorporarem 40% de resíduos de madeira de demolição, encontraram valores para a condutividade de 0,20 W / m.K, o que significa uma redução de 18,8% em relação ao material de referência. A redução da condutividade foi menor do que a encontrada nesta pesquisa.

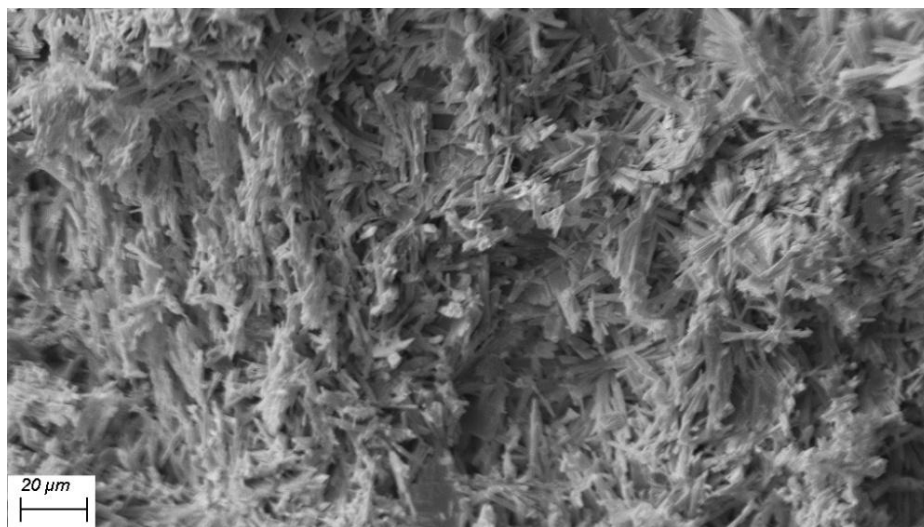


#### 4.7 Caracterização microestrutural dos compósitos

As imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) feitas nos diferentes compósitos, sem incorporações de reforços (referência), incorporados com bagaço de cana, pinus, eucalipto e embalagens cartonadas relativos aos corpos de prova utilizados após o ensaio de flexão (fratura) são apresentadas nas Figuras 18, 19, 20, 21 e 22, respectivamente.

As micrografias das amostras de cada um dos compósitos ajudam a explicar alguns dos resultados obtidos. Na Figura 18 é mostrada a micrografia relativa ao compósito referência, sem incorporações de reforços. Podem-se observar cristais de gipsita alongados, prismáticos e em formato de agulhas, corroborando o relato de Gmouh et al. (2003), ao estudarem mudanças na microestrutura de gesso por pré-estressamento ou adicionando grãos de gesso.

Figura 18- Cristalização do gesso no compósito referência



Fonte: Do Autor (2017).

Nas Figuras 19, 20 e 21 mostram-se as micrografias relativas ao compósito com incorporação de partículas de bagaço de cana, pinus e eucalipto, respectivamente. Pode-se observar a presença de vazios, o que pode a vir explicar a diminuição da densidade e da condutividade térmica com relação a amostra de referência. De forma similar, observa-se que esses espaços vazios formados poderiam ter contribuído para a redução da resistência e a rigidez mecânica, na medida em que se aumentava a inserção de materiais lignocelulósicos nos compósitos.

Figura 19- Micrografia do compósito de gesso com partículas de bagaço de cana de açúcar



Fonte: Do Autor (2017).

Figura 20- Micrografia do compósito de gesso com partículas de pinus



Fonte: Do Autor (2017).

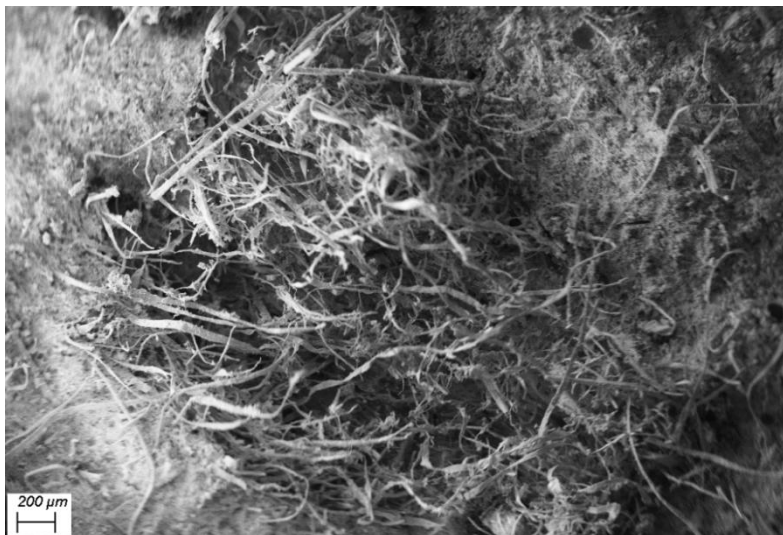
Figura 21- Micrografia do compósito de gesso com partículas de eucalipto



Fonte: Do Autor (2017).

Nos compósitos produzidos com embalagem cartonada (Figura 22) observa-se um agrupamento entre as fibras celulósicas, não se dispersando homogeneamente na matriz de gesso. Isso pode ter levado à redução das propriedades mecânicas. Mesquita et al. (2015), trabalhando com compósito com inserção de fibras de sisal como reforço, observaram o mesmo comportamento de aglutinação das fibras em imagens de microscopia eletrônica de varredura, concluindo que esse fenômeno teria levado à redução da resistência e rigidez dos compósitos.

Figura 22- Micrografia do compósito de gesso com embalagens cartonadas trituradas



Fonte: Do Autor (2017).

## 5 CONCLUSÕES

A adição dos reforços diminuiu a trabalhabilidade da amostra, em comparação com a referência. A perda de trabalhabilidade implica em uma modificação da relação água-gesso necessária, o que interfere nas propriedades físicas, mecânicas e térmicas dos compósitos.

Os diferentes reforços adicionados conduziram à diminuição da densidade aparente do material de referência, resultando em um produto final mais leve. A umidade e a absorção de água aumentaram com o aumento das incorporações dos reforços.

Os materiais que apresentaram melhor desempenho como reforço em compósitos de gesso foram as partículas de pinus e de eucalipto, gerando compósitos com melhores qualidades físicas e mecânicas.

Em termos das propriedades mecânicas, os reforços adicionados levaram à redução da resistência e da rigidez mecânica. Todos os materiais atenderam à normatização para resistência à flexão. Para resistência à compressão, todas as incorporações de pinus e eucalipto atenderam à norma para resistência à compressão. A quantidade máxima de bagaço de cana adicionada nos compósitos para atendimento à normativa é de 28,06%, enquanto que, para embalagem cartonada triturada, o máximo de inserção é de 24,3%.

As propriedades térmicas dos compósitos foram superiores às do material de referência. Observa-se que o aumento da porcentagem dos reforços diminuiu a condutividade térmica, apresentando melhor comportamento térmico, mostrando uma oportunidade promissora para a utilização em placas de gesso para isolamento térmico.

## REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V. O gesso na construção civil. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1989, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Ed. UFSC, 1989. v. 1, p. 64-75.
- AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. Espécies de pinus mais plantadas no Brasil. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 24, n. 135, p. 43-56, 2013.
- AKIL, H. M. et al. Kenaf fiber reinforced composites: a review. **Material & Design**, London, v. 32, n. 8/9, p. 4107-4121, Sept. 2011.
- AL-QURESHI, H. A. **Composite materials: fabrication and analysis**. 3<sup>rd</sup> ed. Vienna: ITA, 1988.
- ALZATE, S. B. A. et al. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, E. saligna Sm. e E. grandis x urophylla. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 87-95, 2005.
- ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Cia. Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 680 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010a. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941-02**: determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127**: gesso para construção: determinação das propriedades físicas do pó: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: gesso para construção civil: especificações. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003b. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853:**

madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010b. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:**

desempenho térmico de edificações: parte 1, definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005. 8 p.

AUGUSTO, D. C. C. et al. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 745-751, 2007.

BEKHTA, P.; DOBROWOLSKA, E. Thermal properties of wood-gypsum boards. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 64, n. 5, p. 427-428, 2006.

BHATIA, L.; JOHRI, S.; AHMAD, R. An economic and ecological perspective of ethanol production from renewable agro waste. **AMB Express**, Münster, v. 2, n. 1, p. 65, Dec. 2012.

BIANCHE, J. J. et al. Properties of particleboards fabricated with eucalyptus (*Eucalyptus urophylla*), parica (*Schizolobium amazonicum*) and vassoura (*Sida* spp.) particles. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 623-630, 2012.

BOOTH, T. H.; JOVANOVIC, T. **Improving descriptions of climatic requirements in the CABI Forestry Compendium:** report to Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra: CSIRO, 2000. (Forestry and Forest Products Client Report, 758).

BORGES, D. C. **Aproveitamento de embalagens cartonadas em compósitos de polietileno de baixa densidade.** 2007. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BRAIEK, A. et al. Estimation of the thermos physical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 140, p. 268-279, 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário mineral brasileiro.** Brasília, DF, 2014.

BRAZ, R. L. et al. Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 5, p. 127-137, 2014.

BRITO, E. O. et al. Chapas de madeira aglomerada de uma camada de *Pinus elliottii* Engelm com a adição das cascas de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 369-375, 2005.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia**. Piracicaba: IPEF, 1979. (Circular Técnica IPEF).

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: J. Wiley, 1963. 689 p.

CALLISTER, W. D. **Materials science and engineering: an introduction**. New York: J. Wiley, 2003. 192 p.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CAMÕES, A. et al. Caracterização de materiais compósitos à base de gesso FGD. In: CONGRESSO NACIONAL DE MECÂNICA EXPERIMENTAL GUIMARÃES, 8., 2010, Minho. **Anais...** Minho: Universidade do Minho, 2010. 1 CD-ROM.

CAREY, J. H. *Pinus taeda*. In: \_\_\_\_\_. **Fogo sistema de informação effects**. Washington: Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory, 1992. Disponível em: <<http://www.fs.fed.us/database/feis/>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 61-76, 2001.

CHAWLA, K. K. **Ceramic matrix composites**. 2<sup>nd</sup> ed. Birmingham: KAP, 2003.

CHAWLA, K. K. **Composite materials: science and engineering**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Springer-Verlag, 1998.



CHINTA, S. K.; KATKAR, P. M.; JAFER, M. M. Natural fibres reinforced gypsum composites. **International Journal of Engineering and Management Sciences**, Warsaw, v. 4, n. 3, p. 318-325, 2013.

CLYNE, T. A. **An introduction to metal matrix composites**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

COMITRE, V. **O consumo de energia no setor de papel e celulose e impactos na agricultura**. 1999. 105 p. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira cana, v. 2:safra 2015/16, n. 4,quarto levantamento**. Brasília, DF, 2016.Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Fichas técnicas: embalagens cartonadas**. São Paulo, 2009.

CUNHA, E. C. **Placas recicladas de embalagens longa vida: caracterização, design e propostas projetuais**. 2011. 237 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

DAI, D.; FAN, M. Preparation of bio-composite from wood sawdust and gypsum. **Industrial Cropsand Products**, London, v. 74, p. 417-424, 2015.

DIAS, A. M. N.; CINCOTO, M. A. **Revestimento à base de gesso de construção**. São Paulo: EDUSP, 1995. Boletimtécnico.

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

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

FAHIM, I. S.; ELHAGGAR, S. M. Reinforcement of plastic waste with treated natural fibers.**Natural Resources**, Hoboken, v. 3, n. 1, p. 6-10, Mar. 2012.

FURTADO, T. S. et al. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de Pinus taeda em diferentes idades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 577-582, maio/jun. 2012.

GENCEL, O. et al. Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results. **Journal Energy and Buildings**, Lausanne, n. 70, p. 135-144, 2014.

GMOUH, A. et al. Changes in plaster microstructure by pre-stressing or by adding gypsum grains: microstructural and mechanical investigations. **Materials Science and Engineering**, Lausanne, v. 352, p. 325-332, 2003.

GORSKI, L. **Oriented strand board (OSB) with wood of Pinus spp. and Eucalyptus benthamii**. 2014. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B. et al. Efeito do teor de parafina nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Pinus oocarpa*. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 72-82, 2013.

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

HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. et al. Development of cork-gypsum composites for building applications. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 13, n. 4, p. 179-186, 1999.

HIGA, R. C. V. et al. **Zoneamento climático: Pinustaeda no sul do Brasil**. 21. ed. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2008. 17 p.

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. 31 p. (EMBRAPA Florestas. Documentos, 54).

ILVESSALO-PFÄFFLI, M. S. **Fiber atlas: identificativon of paper making fibers**. Espoo: Springer, 1994. 399 p. (Springer Series in Wood Sciences).

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual 2016: ano base 2015**. Brasília, DF, 2016. 100 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada**. São Paulo, 1985. 189 p. (Boletim ABPM, 36).

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

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V.; PRADO, T. A. Durabilidade de compósitos de cimento e fibras vegetais. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1., 1997, São Leopoldo. **Anais...** São Leopoldo, 1997. v. 1, p. 19-30.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **IPEF**, Piracicaba, n. 24, p. 9-26, 1983.

KENNEDY, F.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, E. P. A. **Wood and cellulose: industrial utilization, biotechnology, structure and properties**, ellishorwood. Chichester: E. Horwood, 1987. 11130 p.

KHADIRAN, T. et al. Laboratory-scale studies on smart gypsum composite boards incorporated with nano-encapsulated organic phase change material for thermal comfort building application. **Journal of Materials in Civil Engineering**, New York, v. 28, n. 3, Mar. 2016. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0001394>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

KHEDARI, J. et al. New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. **Building and Environment**, Oxford, v. 39, n. 7, p. 59-65, 2004.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 291 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KLOPROGGE, J. T.; FROST, R. L. Raman microscopy at 77K of natural gypsum  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . **Journal of Materials Science Letters**, London, v. 19, p. 229-231, 2000.

KONTTURI, J. E. **Surface chemistry of cellulose: from natural fibers to model surfaces**. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 2005. 145 p.

LIMA, A. F.; JARÁ, E. R. P.; ALFONSO, V. A. Madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica. In: \_\_\_\_\_. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. São Paulo: IPT, 1988. p. 129-167.

LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S. Produtos alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 3, p. 310-323, 2011.

LIMA, C. K. P. et al. Características anatômicas da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LORENZI, H. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Plantarum, 2003. 368 p.

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

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

MAGALHÃES, A. C. T. V.; ALMEIDA, J. G. O uso da mucilagem de cacto em pastas de gesso: efeitos na absorção de água e na resistência à flexão estática. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 139-151, jan./mar. 2010.

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

MARTINS, Q. V. **Caracterização espectroscópica e estudo do comportamento térmico dos resíduos provenientes da cana de açúcar**. 2009. 93 p. Dissertação (Mestrado em Química)-Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, 2009.

MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, jan./mar. 2011.

MEDEIROS, B. L. M. A. et al. Avaliação das propriedades físicas e químicas da madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* cultivadas no Piauí. **Nativa**, Sinop, v. 4, n. 6, p. 403-407, 2016.

MEDINA ALVARADO, R. et al. Reuse of organic waste type in the development of ecoefficient and sustainable composites. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y SOLUCIONES ECOEFICIENTES, 2., 2015, Sevilla. **Annali...** Sevilla:Universidad de Sevilla, 2015. 1 CD-ROM.

MELO, R. R. et al. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes idades. **Revista Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 83-92, maio 2013.

MELO, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2011. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

MENDES, R. F. et al. Qualidade de painéis aglomerados produzidos na China utilizando bagaço de cana. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina, 2008. 1 CD-ROM.

MESQUITA, R. G. A. **Inclusão de materiais lignocelulósicos na produção de compósitos plásticos**. 2013. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MESQUITA, R. G. A. et al. Inclusão de feixes de sisal na produção de painéis MDP de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 75-82, mar. 2015.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **Eucalypt cultivation in Brazil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa*: parte I, estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

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

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 4.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 343 p.

MOULIN, J. C. et al. Efeito do espaçamento, da idade e da irrigação nos componentes químicos da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 39, n. 1, p. 199-208, 2015.

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S.; HODGE, G. R. Provenance and family variation of Pinus oocarpus grown in the Brazilian cerrado. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 109, p. 315-322, 1998.

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

NAHUZ, M. A. R. Atividades industriais com madeiras de Pinus: atualidades e desafios. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 83, p. 10-12, 2004.

NEVES, A. C. R. R.; CASTRO, L. O. A separação de materiais recicláveis: panorama no Brasil e incentivos à prática. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 8, n. 8, p. 1734-1742, 2012.

NINDIYASARI, F. et al. Characterization and mechanical properties investigation of the cellulose/gypsum composite. **Journal of Composite Materials**, Lancaster, v. 50, n. 5, p. 657-672, 2016.

NORONHA, L. L. **Elementos construtivos e de proteção térmica à base de gesso e resíduos agroindustriais**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental)-Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, 2014.

OLIVEIRA, M. **Materiais compósitos à base de gesso contendo EVA (etileno acetato de vinila) e vermiculita: otimização e propriedades termodinâmicas**. 2009. 216 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, 2009.

OLIVEIRA, M. P. et al. Compósitos à base de gesso com resíduos de EVA e vermiculita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 684-689, 2012.

PAIVA, J. M. F. de. **Compósitos lignocelulósicos: matrizes poliméricas de resina fenólica reforçadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar**. 1997. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais)-Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

PAULA, L. E. R. et al. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2011.

PEDRESCHI, R. **Aproveitamento do bagaço de cana da indústria sucroalcooleira na produção de painéis aglomerados**. 2009. 49 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. **O gesso: produção e utilização na construção civil**. Recife: Bagaço, 2001.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. **Gesso: produção e utilização na construção civil**. Recife: SEBRAE, 2008.

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

PROTÁSIO, T. P. et al. Estabilidade térmica de painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar e madeira de *Pinus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 683-691, 2015.

PROTÁSIO, T. P. et al. Técnicas multivariadas aplicadas a avaliação de resíduos lignocelulosicos para a produção de bioenergia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 771-781, 2013.

RIBEIRO, D. P. **Painéis MDP produzidos com bagaço de cana tratado termicamente**. 2017. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

RIOS, P. d'A. et al. Avaliação do potencial da madeira de *Pinus patula* Schltdl. & Cham para a produção de painéis de madeira aglomerada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 497-508, jun. 2016.

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

RODRIGUES, C. K.; HILLIG, E.; MACHADO, G. O. Análise química da madeira de Pinus oocarpa. In: SEMANA DE INTEGRAÇÃO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2009, Guarapuava. **Anais...Guarapuava**, 2010. 1 CD-ROM.

SANADI, A. **Natural fibers as fillers/reinforcements in thermoplastics: low environmental impact polymers**. Shawbury: Rapra Technology, 2004.

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

SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, L. Estudo da microestrutura das fibras vegetais e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios. **Revista Engenheiro Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 1, p. 113-124, 1997.

SERNA, A. et al. Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 35, p. 633-641, Oct. 2012.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2008.

SILVA, A. R. S. et al. Determinação da resistência à compressão de blocos compósitos de gesso com adição de resíduos da construção civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2016, Natal. **Anais...** Natal, 2016. 1 CD-ROM.

SILVA, C. G. **Fibras celulósicas têxteis em compósitos de matriz fenólica**. 2006. 161 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SILVA, D. W. et al. MDP com partículas de eucalipto e palha de milho. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 853-862, 2015.

SILVA, L. et al. **Material compósito à base de gesso reforçado com fibras: caracterização mecânica**. Azurém: Universidade do Minho, 2014.



SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C. O.; ALSINA, L. S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 2, p. 27-32, 2007.

SINDUSGESSO. **Crescimento econômico do pólo gesseiro nos últimos seis anos**. Disponível em: <<http://www.sindusgesso.org.br/crescimento-economico-do-polo-gesseiro-nos-ultimos-seis-anos/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

SINHA, P. In: WORKSHOP CUM SHORT TERM COURSE ON COMPOSITE MATERIALS AND STRUCTURES, 1996, Kharagpur. **Proceedings...** Kharagpur: Institution of Engineering and Department of Aerospace Engineering, 1996.

SOARES, S. S. et al. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Revista Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 8, n. 2, p. 64-73, 2017.

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

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

TETRAPAK. **Sustainability update 2014**. 2014. Disponível em: <<http://www.tetrapak.com/about/newsarchive/tetra-pak-releases-sustainability-update-2014>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

THAKUR, V. K.; THAKUR, M. K. Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. **Carbohydrate Polymers**, Kidlington, v. 109, p. 102-117, Aug. 2014.

TRINDADE, W. G. et al. Thermoset phenolic matrices reinforced with unmodified and surface-grafted furfuryl alcohol sugarcane bagasse and curaua fibers: properties of fibers and composites. **Biomacromolecules**, London, v. 6, p. 2485-2496, 2005.

VALÉRIO, A. F. et al. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidosperma polineuron* Muell. Arg.) ao longo do fuste. **Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 54-58, 2008.

VAN SOEST, P. J. Limiting factors in plant residues of low biodegradability. **Agricultural and Environmental**, Amsterdam, v. 6, p. 135-143, 1981.

VASCONCELOS, G. et al. Mechanical behavior of gypsum and cork based composite material. **Materials Science Forum**, Zurich, v. 730/732, p. 361-366, Nov. 2013.

VILA-CHÃ, N. **Estudo de um material compósito à base de gesso e cortiça**. 2012. 73 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil)-Universidade do Minho, Braga, 2012.

VILLANUEVA, L.; SANTOS, A. **Manual del Yeso**. Madrid: Asociación Técnica y Empresarial del Yeso, 2006.

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