



RAPHAEL LEITE FERREIRA

**COMPÓSITOS MINERAIS COM MATRIZ DE GESSO
REFORÇADA COM RESÍDUO DE ALGODÃO**

**LAVRAS – MG
2021**

RAPHAEL LEITE FERREIRA

**COMPÓSITOS MINERAIS COM MATRIZ DE GESSO REFORÇADA COM
RESÍDUO DE ALGODÃO**

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

Prof. Dr. José Benedito Guimarães
Orientador

Hudson Venâncio Silva Garcia
Coorientador

**LAVRAS – MG
2021**

RAPHAEL LEITE FERREIRA

**COMPÓSITOS MINERAIS COM MATRIZ DE GESSO REFORÇADA COM
RESÍDUO DE ALGODÃO**

**MINERAL COMPOSITES WITH REINFORCED PLASTER MATRIX WITH
COTTON WASTE**

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

Aprovado em 07 de Maio de 2021.

Dr. José Benedito Guimarães
Dra. Luciana Silva Villela
Dr. Douglas Lamounier Faria

Prof. Dr. José Benedito Guimarães
Orientador

Hudson Venâncio Silva Garcia
Coorientador

**LAVRAS – MG
2021**

AGRADECIMENTOS

A gratidão é uma virtude de quem crê, de quem confia nos pedidos feitos e sabe que algo maior olha por nós.

Agradeço a Deus, por ser tão fiel a mim, por sempre renovar no meu coração a paz, a fé e por ter me sustentado nos momentos mais difíceis da minha vida.

Agradeço a minha mãe, que sempre esteve ao meu lado, mesmo longe, por tudo que fez por mim durante a minha vida toda. Todas as minhas conquistas são para você, pois meu amor por ti é infinito e eu só desejo que um dia possa retribuir como a senhora merece.

Ao meu pai, que durante todo o período em que me dediquei à faculdade me ajudou para que eu conseguisse concluir essa etapa. Meu muito obrigado, do fundo do coração.

À minha família, avós, tios, tias, primos e primas. Obrigado pela torcida de sempre.

Aos meus amigos de Lavras e as outras tantas cidades que tive o prazer de desfrutar do convívio e das boas risadas. A experiência em Lavras não teria sido a mesma sem a convivência com vocês.

A Floresta Junior e o UEPAM me dando a oportunidade de aprender e ensinar. Em especial ao Hudson e ao professor José Benedito. Obrigado!

Aos meus professores, que abriram o caminho para o conhecimento e para que eu possa futuramente exercer minha profissão. O papel de vocês é o mais importante do mundo.

À UFLA, por ser o local onde as minhas melhores memórias ficarão registradas.
A todos os funcionários da UFLA que tornaram esse momento possível.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO GERAL

Com a expansão do agronegócio brasileiro, a busca por reaproveitamento dos subprodutos originados em cultivos tem sido crescente, decorrente da necessidade de gerar novas aplicações de forma sustentável, gerando assim um material inovador e com melhores propriedades. Desta forma, vem sendo avaliada a utilização desses materiais em compósitos, associando materiais lignocelulósicos, tais como fibras vegetais e resíduos da agroindústria como reforço. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de compósitos minerais com matriz de gesso e reforço de *Eucalyptus grandis* juntamente com o capucho de algodão, com objetivo de verificar o potencial de aproveitamento desse resíduo na produção de compósitos minerais com matriz de gesso. Os compósitos foram produzidos em diferentes composições, em que foram empregados resíduos de algodão em substituição às partículas de eucalyptus *grandis*, nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% (em massa). Os cálculos foram realizados para densidade nominal do compósito de 1,20 g/cm³. As dimensões do mesmo foram de 20,0 cm x 20,0 cm x 1,5 cm (comprimento, largura e espessura, respectivamente). Constatou-se que não houve melhorias nas propriedades físicas com o acréscimo de reforço, visto que a densidade não foi reduzida, mantendo uma média 0,94g/cm³, também não houve diminuição significativa na higroscopicidade, já que os teores de umidade se mantiveram em uma média de 5,32% e a absorção de água em ambos tempos avaliados, teve um aumento linear, em consequência da menor densidade do algodão e também em relação à caracterização química do resíduo de algodão, por possuir mais holocelulose (celulose + hemicelulose), assim como o inchamento em espessura em ambos tempos avaliados (2 e 24hs). Já para as propriedades mecânicas, houve aumento de resistência para a compressão, podendo ter sua máxima substituição de 25,17% de resíduos de algodão, assim confere resistência superior à 2,0MPa como é exigido na literatura. Já quando analisado ao módulo de ruptura (MOR) à flexão estática, não houve efeito significativo, mantido o valor médio de resistência de 1,7 MPa.

Palavras-chave: Propriedades físicas e mecânicas; Algodoeiro; Compósitos minerais.

GENERAL ABSTRACT

With the expansion of Brazilian agribusiness, the search for reuse of by-products originated in crops has been growing, due to the need to generate new requests in a sustainable way, thus generating an innovative material and with better properties. In this way, the use of these materials in composites has been evaluated, associating lignocellulosic materials, such as vegetable fibers and residues of the agroindustry as reinforcement. The present work aims to evaluate how physical and mechanical properties of minerals composed with plaster matrix and reinforcement of *Eucalyptus grandis* together with the cotton cap, in order to verify the potential of using this residue in the production of mineral compounds with plaster matrix. The composites were produced in different compositions, in which cotton residues were used to replace the particles of *eucalyptus grandis*, in the proportions of 0, 25, 50, 75 and 100% (by mass). The calculations were performed for a nominal panel density of 1.20 g / cm³. The dimensions were 20.0 cm x 20.0 cm x 1.5 cm (length, width and thickness, respectively). It was found that there were no improvements in physical properties with the increase of reinforcement, since the density was not reduced, maintaining an average of 0.94g / cm³, nor did it significantly decrease in hygroscopicity, since the moisture content remained at an average of 5.32% and the absorption of water in both times evaluated, had a linear increase, as a result of the lower density of cotton and also in relation to the chemical characterization of cotton waste, as it has more holocellulose (cellulose + hemicellulose), as well as the thick swelling at both times evaluated (2 and 24 hours). As for the mechanical properties, there was an increase in resistance to compression, with a maximum substitution of 25.17% of cotton residues, thus providing resistance greater than 2.0MPa as required in the literature. On the other hand, when analyzing the “modulus of rupture” (MOR) at static bending, there was no significant effect, maintaining the average resistance value of 1.7 MPa.

Keywords: Mechanical and physical properties; Cotton; Mineral composite.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	7
1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Compósitos Minerais.....	10
2.2 Resíduos.....	10
2.3 Fibras Vegetais.....	11
2.4 A Cotonicultura	11
2.5 Gesso	12
REFERÊNCIAS	14
SEGUNDA PARTE – ARTIGO.....	18
ARTIGO 1 - COMPÓSITOS MINERAIS COM MATRIZ DE GESSO REFORÇADA COM RESÍDUO DE ALGODÃO	19
1 INTRODUÇÃO	20
2 MATERIAL E MÉTODOS	21
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4 CONCLUSÕES.....	32
REFERÊNCIAS	32

PRIMEIRA PARTE

Introdução geral

1 INTRODUÇÃO

Os compósitos são materiais que em associação com outros melhoram a qualidade do produto. Resultante da busca pelo aproveitamento total ou reaproveitamento de materiais utilizados em cultivos agrícolas, a utilização de materiais lignocelulósicos neles, como fibras vegetais e resíduos da agroindústria, vem sendo amplamente utilizados com a finalidade de gerar reforço (ANDRADE; MARQUES; PEIXOTO, 2016; TRINDADE et al, 2015; VILA-CHÃ, 2012). Destaca-se que os compósitos podem ser empregados em diversas áreas, tais como a indústria automotiva e a construção civil (TITA; PAIVA, 2002; VILLELA, 2017).

O termo material compósito teve origem e utilização a partir de meados do século 20, sendo divulgado na comunidade científica como uma classe promissora de materiais que podem ser empregados na engenharia. A palavra compósito tem por significado, a aglutinação de partes distintas, portanto, designa-se materiais compósitos aqueles materiais que são resultantes da combinação de dois ou mais materiais diferentes entre si que possuem propriedades físico-químicas diferentes. Segundo Callister Junior e Rethwisch (2016), afirma que se trata de uma classe de material heterogêneo, cujo objetivo da mistura é a obtenção de um material compósito que apresente um desempenho estrutural superior à de seus elementos constituintes em separado (DAY; HOA; TSAI, 2003).

A combinação dos compósitos acontece, em grande parte, de materiais naturais, sendo classificados por aqueles materiais que são fabricados por ação humana (Chawla, 1987). Possuem fases físicas e químicas distintas, que são arranjadas ou distribuídas de acordo com a intenção detendo uma interface separando-as. O produto final apresenta características novas que os materiais não possuem isoladamente (Villela, 2017).

Os materiais compósitos são compostos por duas partes: uma matriz, que é um material base (fase contínua) e um reforço ou carga (fase dispersa) que é adicionado à matriz, sendo utilizados no presente estudo, gesso e resíduo de algodão, respectivamente. As fibras incluídas nos materiais compósitos são responsáveis pela resistência às cargas e pela dureza do material, podendo ainda proteger o material de danos causados por intempéries ou agentes químicos. Lopes (2004), afirma que os compósitos minerais apresentam uma alta durabilidade e maior resistência tanto às ações intempéricas quanto à agentes biológicos, comportando-se como isolantes térmicos e acústicos.

O gesso é um material muito utilizado nas construções, por ser ter baixo custo e também fácil manuseio, além disso, este material, por ser uma chapa mineral assume o

papel de isolante térmico, o que atende aos padrões de segurança a incêndio. Este material tem um rápido endurecimento por ser hidratado com sulfato de cálcio, mas em contrapartida ele perde sua resistência mecânica em contato com a umidade, sendo por isso empregado apenas em partes internas das construções (SCHUG et al, 2017; JOHN; CINCOTTO, 2007; PACHON-RODRIGUEZ et al, 2011).

Visto esta problemática indicada nas literaturas, pode-se propor um compósito que busque agregar propriedades para a resistência mecânica do material e uma alternativa de material lignocelulósico para a fabricação de compósitos minerais são os resíduos provenientes da cultura do algodoeiro (SEVERINO et al, 2019). De acordo com a Abrapa (2019), o Brasil é o quinto maior produtor de algodão no cenário mundial. Severino et al. (2019), relata essa cultura como promissora e em alta, uma vez que a demanda mundial por consumo de produtos naturais em detrimento de materiais sintéticos tem sido crescente. Levando em consideração esse cenário, é importante que sejam desenvolvidos estudos que visem utilizar os resíduos desta produção, de modo a torná-la cada vez mais sustentável e atendendo aos critérios socioambientais.

Dentre os resíduos da produção encontramos o capucho, uma fibra vegetal, que são os frutos do algodoeiro após sua abertura. Por terem a função inicial de proteção do fruto, eles apresentam fibras de algodão que não são aproveitadas no beneficiamento, mas tem um grande potencial para o emprego em compósitos minerais (CONAB, 2016).

Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi verificar o potencial de aproveitamento da cultura do algodoeiro capucho na produção de compósitos minerais com matriz de gesso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Compósitos Minerais

Os materiais compósitos são historicamente utilizados pelo homem, entretanto de acordo com Al-Qureshi (1988), foi a partir da década de 40 que estes materiais tiveram alta em seu desenvolvimento e a sua utilização foi amplamente difundida. Desde então, os índices de utilização destes tipos de materiais só vêm crescendo (BRANDÃO, 2015).

É considerado um material compósito aquele que consiste em um sistema de associação entre duas ou mais fases/materiais, e, essa união, faz com que o novo material originado apresente desempenho superior ao de seus constituintes quando observados isoladamente. Tem-se, portanto, que a elaboração dos compósitos permite a obtenção de materiais com um desempenho mecânico superior e com mais resistência, podendo a última ser observada pela resistência à umidade, peso e outras características.

Silva e Cavalcanti (2016) afirma que os compósitos têm um componente rígido e resistente (reforço) e uma fase mais maleável e fraca (matriz). Sendo assim, os reforços, serão imersos na matriz para conferir a ela resistência, enquanto a matriz transmite tensão e pode manter as fases unidas.

Corroborando, Callister Junior e Rethwisch (2016) pontuam que os compósitos podem ser classificados em naturais ou artificiais. A madeira é um bom exemplo de compósito natural, sendo caracterizada por fibras de celulose que possuem rigidez e resistência (reforço), mergulhadas em lignina (matriz), material maleável que dá liga ao composto. Já os compostos artificiais surgem a partir da demanda do homem em encontrar materiais adequados às necessidades específicas, sempre possuindo uma matriz e um reforço, que variam em cada caso (SINHA, 1996).

2.2 Resíduos

A atividade humana gera diferentes tipos de resíduos, que variam em função das práticas de consumo, dos meios e métodos de produção, que podem proporcionar diferentes tipos de composição e quantidade de resíduos produzidos (NOGUEIRA; LORA, 2002).

O crescimento exponencial da população acarretou na necessidade da produção de matérias primas que atendam a demanda mundial, e em consequência disto, a quantidade de resíduos agrícolas resultantes da produção agrícola gera preocupação quanto à poluição do ambiente e também a contaminação de lençóis freáticos, solos,

plantas que podem gerar intoxicações tanto em humanos como em outros animais (BAHRAMI et al, 2016).

Pesquisas relacionadas à utilização de resíduos para elaboração de compósitos minerais são de grande importância na atualidade, em virtude da necessidade de melhoria na qualidade de materiais aplicados na construção civil, como é o caso do gesso, que tem crescente emprego nas construções (MESQUITA-JÚNIOR, 2018).

Deste modo, o presente estudo busca confeccionar compósitos à base de gesso e enriquecidos com resíduos do algodoeiro objetivando à melhora das propriedades do compósito e o emprego dos resíduos da cultura.

2.3 Fibras Vegetais

As fibras vegetais são fibras naturais que se apresentam como um excelente recurso renovável disponível, sendo materiais que absorvem a mesma quantidade de dióxido de carbono que produzem, além de gerarem apenas resíduos orgânicos, que podem ser utilizados em outras áreas, apresentando-se, portanto, como um potente material biodegradável (BRITO; ARAÚJO, 2011).

Quando comparamos as fibras naturais às artificiais, podemos destacar as inúmeras vantagens de seu uso, como o fato de serem biodegradáveis e menos agressivas ao meio ambiente, além de gerar empregos no ramo da agricultura, fazendo uma produção agrária empregando 100% do material produzido. Além disso, as fibras vegetais são mais resistentes, leves e econômicas (JACOB; THOMAS, 2002).

Deste modo, ao empregar as fibras vegetais em compósitos minerais, podemos colaborar tanto economicamente, quanto socialmente e ainda de modo sustentável, visto que o material é rejeito da produção de algodão e possui diversas propriedades que podem contribuir para conferir resistência ao compósito.

2.4 A Cotonicultura

O cultivo do algodão no Brasil teve início nos primeiros anos da colonização e eram cultivadas tanto espécies nativas, quanto exóticas. Mas é sabido, que nesta época, a cultura de algodão era restrita à agricultura familiar, não havendo produtores em larga escala. Além disso, para confecção de tecidos, os instrumentos eram rudimentares e caseiros. Portanto, o algodão não participava da base da economia, sendo produzido para

consumo local, enquanto destacavam-se a produção da cana-de-açúcar e o pau-brasil (COSTA; BUENO, 2004).

De acordo com Coelho (2004), a cultura do algodão no Brasil sempre foi presente, sendo seu desenvolvimento passível à divisão em duas fases no decorrer da história. A primeira fase compreende-se no período da colonização do Brasil até a crise de 1929, e a segunda fase, iniciou-se na década de 30 e perdura até os dias atuais.

Na primeira fase, o algodão se manteve como um produto para mercado interno, atendendo as demandas nacionais de fibras têxteis, havendo alguns momentos de importância na exportação da pluma em decorrência de desorganizações na produção estadunidense. E na segunda fase a cotonicultura começa a crescer e ganhar espaço devido à crise na produção de café do início da década de 30 (COELHO, 2004).

Patrício (2016) destaca que o algodão é uma das culturas mais importantes na produção de fibra no cenário nacional e mundial, não fornecendo apenas fibras para indústria têxtil, mas também sendo utilizada na alimentação de animais e na produção de óleos através de suas sementes. A cotonicultura pode ocorrer sob diferentes condições climáticas, tais como tropical, subtropical e temperado.

Desta maneira, a produção do algodão no Brasil e no mundo, possui um grande espaço na agricultura, havendo, portanto, a preocupação em relação aos seus resíduos, principalmente sólidos, como o capucho do algodão, que consiste na cápsula em que o algodão é formado. Sendo assim, quando o algodão é retirado de dentro do capucho para pesagem e venda, há uma grande quantidade de capucho que fica disponível, podendo ser empregado em outros processos.

2.5 Gesso

O material amplamente conhecido como Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), é obtido através da calcinação do mineral gipsita, tratando-se, portanto, de um sulfato de cálcio hemidratado. Apesar do nome gesso e a palavra gipsita serem utilizados como sinônimos, destaca-se que o termo gipsita trata-se do mineral disponível no ambiente, que tem em sua composição anidrita, argilo-minerais, calcita, dolomita e material orgânico sendo, portanto, a matéria prima na produção do gesso (GONÇALVES; FERRAZ, 2014; CANUT, 2006).

A produção do gesso consiste em quatro etapas: extração do gipso, preparação para calcinação, calcinação e seleção. Destaca-se que a calcinação é um processo térmico de desidratação da gipsita, para assim obter o hemidrato a uma temperatura que deve estar entre 140°C e 160°C, o que ocasiona a retirada de cerca de 75% de água. Esse processo pode ocorrer tanto por via seca, quanto por via úmida, produzindo respectivamente gesso beta e alfa (BARBOSA; FERRAZ; SANTOS, 2014; MELO, 2012).

É importante considerar que o gesso, como dito por Magalhães (2009), é um dos materiais de construção produzidos por ação humana mais fabricados, em sua grande maioria, sendo obtidos através do aquecimento da gipsita, que se transforma em pó e depois em contato com a água forma uma pasta.

Apesar de não ser um material de colagem excelente, o gesso pode ser tratado e ganhar novas propriedades aumentando sua capacidade de aderência e resistência. Lembrando que uma grande vantagem das chapas de partidas aglomeradas é a resistência ao fogo (LEMPFER et al., 1990; BAUER, 1994).

Como o gesso tem uma capacidade grande de perder e ganhar umidade rapidamente, este material é de grande utilidade para a colagem quando misturado com água, afinal quando aquecido ele perde este elemento e quando umedecido ele ganha maleabilidade e plasticidade (HASELEIN et al., 2002).

Oliveira (2009) já destaca que o gesso possui diversas características excelentes para seu emprego na construção civil, como boa propriedade térmica e acústica, não sofre retração por secagem e confere à construção um excelente acabamento.

O gesso empregado na construção civil é classificado pela ABNT (1994) de acordo com 3 propriedades: o tempo de pega (rápido ou lento), a granulometria (fino ou grosso) e a utilização (fundição ou revestimento). A sua maior aplicação é feita na construção civil, sendo selecionado de acordo com as propriedades adequadas a cada etapa de construção. O gesso para fundição é utilizado na fabricação de blocos e chapas de gesso e o gesso para revestimento reveste paredes e tetos em ambientes internos e de baixos níveis de umidade (JOHN; AGOPYAN; PRADO, 1997; MUNHOZ, 2008).

REFERÊNCIAS

ABRAPA (Brasil). Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. In: **Algodão no Brasil**. [S. l.], 6 fev. 2021. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-brasil.aspx>. Acesso em: 6 fev. 2021.

AL-QURESHI, H. A. **Composite materials: fabrication and analysis**. 3rd ed. Vienna: ITA, 1988.

ANDRADE, L. C. R. de; MARQUES, E. A. G.; PEIXOTO, R. A. F. Perspectivas para o reaproveitamento de rejeitos da mineração de ferro como materiais de construção. **Geografias**. Belo Horizonte. V. 12, n. 1, 2016, p. 32-44.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: gesso para construção civil: especificações. Rio de Janeiro, 1994.

BAHRAMI, A. et al. Development of metal-matrix composites from industrial/agricultural waste materials and their derivatives, critical reviews. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 46, p. 2, 2016.

BARBOSA, A. A; FERRAZ, A. V; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso β obtido do pólo do araripe. **Cerâmica**, v.60, p. 501-508, 2014.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC Ed., 1994. v.1.

BRANDÃO, C. P. **Compósito com matriz de gesso e reforço de manta de sisal**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) Universidade Federal da Bahia, 2015.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, E. M.; ARAÚJO, T. A. J. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande. **REMAP – Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6.2. 127- 139. ISSN 1809 – 8797, 2011.

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

CANUT, M. M. C. **Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção**. 2006. 154f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

CHAWLA, K. K. Composite Materials. **Science and Engineering**, Springer-Verlag, New York, 1987.

COELHO, A. B. A cultura do algodão e a questão da integração entre preços internos e externos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, vol. 42, n. 10, 2004, p.153-169.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 08 ago 2016.

COSTA, S. R.; BUENO, M. G. **A saga do algodão**: das primeiras lavouras à ação na OMC. Rio de Janeiro: Insight Engenharia, 2004.

DAY, D.; HOA, S.V.; TSAI, S.W. **Composites Materials**: design and applications. 4th ed Boca Raton: CRC Press, 2003.

GONÇALVES, I. C. M; FERRAZ, A. V. Estudo do efeito de materiais Impermeabilizantes de origem vegetal na pasta de gesso. **Evolvere Scientia**, v. 3, n. 1, 2014.

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

JACOB, M.; THOMAS, S. **Biofibres and Biocomposites**. Kottayam, Kerala, India [S.I.:s.n.], 2002.

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.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de construção civil. Isaia, G. C **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. IBRACON 727-760, 2007.

LEMPFER, K.; HILBERT, T.; GUNZERODT, H. Development of gypsum particleboard manufacture in Europe. **Forests Products Journal**, v. 40, n. 6, 1990, p. 37-40.

LOPES, Y. L. V. **Utilização da madeira e cascas de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden na produção de painéis cimento-madeira**. 2004. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

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.

MEDINA, J. C. **Plantas Fibrosas da Flora Mundial**. Instituto Agronômico de Campinas, 1959, p. 787-792.

MELO, D. C. P. **Processo de calcinação da gipsita/resíduo em um forno rotativo contínuo para a produção de gesso beta reciclável**. 2012. 177f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

MESQUITA-JUNIOR, L. **Desenvolvimento e análise de compósitos à base de gesso com adição de resíduos de pneu e partículas de madeira de *Eucalyptus grandis***. 2018. 77 p. (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras: Lavras, 2018.

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.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. **Wood energy: principles and applications núcleo de excelência em geração termoeletrica distribuída**. Itajubá: Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, 2002.

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.

PACHON-RODRIGUEZ, E.A.; GUILLON, E.; HOUVENAGHEL, G.; COLOMBANI, J. Pressure solution as origin of the humid creep of a mineral material, *Phys. Rev. E Stat. Nonlinear Soft Matter Phys.* 84 (2011)

PATRICIO, P. E. **Resíduos do processo de beneficiamento do algodão** – Estudo de Caso. Trabalho de Conclusão de Curso: Engenharia Ambiental e Sanitária. UFPEL: Pelotas, RS, 2016.

SCHUG, B.; MANDEL, K.; SCHOTTNER, G.; SHMELIOV, A.; NICOLSI, V.; BAESE, R.; PIETSCHMANN, B.; BIEBL, M.; SEXTL, G. A mechanism to explain the creep behavior of gypsum plaster. *Cement and Concrete Research* v. 98, p. 122–12, 2017.

SEVERINO, L.S.; RODRIGUES, S. M. M.; CHITARRA, L.G.; LIMA FILHO, J.; CONTINI, E.; MOTA, M.; MARRA, R.; ARAÚJO, A. Produto algodão: Caracterização e Desafios Tecnológicos. **Série desafios do Agronegócio Brasileiro.** Embrapa algodão. maio de 2019.

SILVA, A. O.; CAVALCANTE, M. A. A. Avaliação da resistência de materiais compósitos reforçados por fibras unidirecionais empregando modelos de micromecânica. In: IBERIAN LATIN-AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING, 37, 2016, Brasília. **Proceedings...** Brasília: ABMEC, 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.

TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M. F. DE; FROLLINI, E. **Resistência ao Impacto e Outras Propriedades de Compósitos Lignocelulósicos: Matrizes Termofixas Fenólicas Reforçadas com Fibras de Bagaço de Cana-de-açúcar.** *Polímeros*, [s.l.], v. 12, n. 4, p.228-239, 2002.

TRINDADE, A. de O.; SOARES, L. O.; NETO, R. O.; SOUZA, L. E. de; ABICHEQUER, L. A.; GONÇALVES, I. G.; CARON, F. Caracterização dos rejeitos das minas do Camaquã para reaproveitamento sustentável. **Revista Monografias Ambientais.** Santa Maria, v. 14, Ed. Especial Unipampa, 2015, p. 116-132.

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.

VILLELA, L. S. **Compósitos à base de gesso reforçados com partículas de resíduos lignocelulósicos e embalagens cartonadas.** 2017. 88p. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Engenharia de Biomateriais) Universidade Federal de Lavras, 2017.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

ARTIGO 1 - COMPÓSITOS MINERAIS COM MATRIZ DE GESSO REFORÇADA COM RESÍDUO DE ALGODÃO

Raphael Leite Ferreira^{1,*}, Hudson Venâncio Silva Garcia¹, Thaynara Andrade Lopes¹

¹Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras 37200-900, Minas Gerais, Brazil

***Autor correspondente:** Raphael Leite Ferreira

E-mail: raphael.ferreira@estudante.ufla.br

RESUMO

Com a expansão do agronegócio brasileiro, a busca por reaproveitamento dos subprodutos originados em cultivos tem sido crescente, decorrente da necessidade de gerar novas aplicações de forma sustentável, gerando assim um material inovador e com melhores propriedades. Desta forma, vem sendo avaliada a utilização desses materiais em compósitos, associando materiais lignocelulósicos, tais como fibras vegetais e resíduos da agroindústria como reforço. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de compósitos minerais com matriz de gesso e reforço de *Eucalyptus grandis* juntamente com o capucho de algodão, com objetivo de verificar o potencial de aproveitamento desse resíduo na produção de compósitos minerais com matriz de gesso. Os compósitos foram produzidos em diferentes composições, em que foram empregados resíduos de algodão em substituição às partículas de eucalyptus *grandis*, nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% (em massa). Os cálculos foram realizados para densidade nominal do compósito de 1,20 g/cm³. As dimensões do mesmo foram de 20,0 cm x 20,0 cm x 1,5 cm (comprimento, largura e espessura, respectivamente). Constatou-se que não houve melhorias nas propriedades físicas com o acréscimo de reforço, visto que a densidade não foi reduzida, mantendo uma média 0,94g/cm³, também não houve diminuição significativa na higroscopicidade, já que os teores de umidade se mantiveram em uma média de 5,32% e a absorção de água em ambos tempos avaliados, teve um aumento linear, em consequência da menor densidade do algodão e também em relação à caracterização química do resíduo de algodão, por possuir mais holocelulose (celulose + hemicelulose), assim como o inchamento em espessura em ambos tempos avaliados (2 e 24hs). Já para as propriedades mecânicas, houve aumento de resistência para a compressão, podendo ter sua máxima substituição de 25,17% de resíduos de algodão, assim confere resistência superior à 2,0MPa como é exigido na literatura. Já quando analisado ao módulo de ruptura (MOR) à flexão estática, não houve efeito significativo, mantido o valor médio de resistência de 1,7 MPa.

Palavras-chave: Propriedades físicas e mecânicas. Algodoeiro. Compósitos minerais.

ABSTRACT

With the expansion of Brazilian agribusiness, the search for reuse of by-products originated in crops has been growing, due to the need to generate new requests in a sustainable way, thus generating an innovative material and with better properties. In this way, the use of these materials in composites has been evaluated, associating lignocellulosic materials, such as vegetable fibers and residues of the agroindustry as reinforcement. The present work aims to evaluate how physical and mechanical properties of minerals composed with plaster matrix and reinforcement of *Eucalyptus grandis* together with the cotton cap, in order to verify the potential of using this residue in the production of mineral compounds with plaster matrix. The composites were produced in different compositions, in which cotton residues were used to replace the particles of *eucalyptus grandis*, in the proportions of 0, 25, 50, 75 and 100% (by mass). The calculations were performed for a nominal panel density of 1.20 g / cm^3 . The dimensions were $20.0 \text{ cm} \times 20.0 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm}$ (length, width and thickness, respectively). It was found that there were no improvements in physical properties with the increase of reinforcement, since the density was not reduced, maintaining an average of 0.94 g / cm^3 , nor did it significantly decrease in hygroscopicity, since the moisture content remained at an average of 5.32% and the absorption of water in both times evaluated, had a linear increase, as a result of the lower density of cotton and also in relation to the chemical characterization of cotton waste, as it has more holocellulose (cellulose + hemicellulose), as well as the thick swelling at both times evaluated (2 and 24 hours). As for the mechanical properties, there was an increase in resistance to compression, with a maximum substitution of 25.17% of cotton residues, thus providing resistance greater than 2.0MPa as required in the literature. On the other hand, when analyzing the “modulus of rupture” (MOR) at static bending, there was no significant effect, maintaining the average resistance value of 1.7 MPa.

Keywords: Mechanical and physical properties. Cotton. Mineral composite.

1 INTRODUÇÃO

O mercado civil vem crescendo e se destacando no cenário mundial. Sendo assim, novas vertentes, como a utilização de compósitos minerais em associação com subprodutos agrícolas e industriais, estão em evidência para que novos materiais sejam produzidos em busca de melhores desempenho. Diante dessa perspectiva, o compósito é utilizado para reaproveitamento e também para a criação de novos materiais.

Materiais compósitos podem ser definidos como misturas heterogêneas que apresentam propriedades superiores que às de seus contribuintes, sendo eles a matriz e o reforço (Kelly, 1994; Hull; Clyne, 1996).

O gesso, utilizado como matriz, é um material de grande aplicação devido à rapidez de instalação, facilidade para moldagem e excelente acabamento (Pinto et al. 2016).

A utilização de fibras vegetais como reforço em compósitos não é recente, sendo utilizadas há bastante tempo na construção civil, tendo como vantagens o baixo custo, baixa densidade, ser biodegradáveis e por gerar aumento na produção e economia agrícola (Maxwell, 2014). Segundo Mesquita (2013), várias espécies vegetais vêm sendo testadas para serem usadas como reforço, como fibras de madeira, bambu, bagaço de cana, entre outras.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o incremento na qualidade dos compósitos à base de gesso em associação com o capucho de algodão com testes de absorção de água, ligação interna, módulo de ruptura (MOR) , umidade e compressão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As matérias-primas utilizadas para produção dos compósitos minerais foram o gesso para a matriz e dois tipos de materiais lignocelulósicos como reforço, o *Eucalyptus grandis* e o capucho de algodão, que se trata do resíduo da cultura.

Como matriz foi utilizado o gesso ouro fino para a fundição oriundo do Polo Gesseiro do Araripe-PE, o qual é encontrado no comércio da cidade de Lavras/MG. Esse material apresenta módulo de finura de 0,85, massa específica aparente de 781kg/m³, tempo de início e fim de pega de 9 e 22 minutos, respectivamente. Já a madeira de *Eucalyptus grandis* e o resíduo de algodão foram obtidos no campus da Universidade Federal de Lavras, também localizada no município de Lavras, Minas Gerais.

Para a obtenção das partículas de *Eucalyptus grandis*, o material foi obtido a partir do processo de laminação e triturado em moinho do tipo martelo, enquanto o resíduo de algodão foi moído em um moinho de facas. Ambos os materiais lignocelulósicos foram peneirados em peneiras sobrepostas de 12 mesh (1,68mm) e 20 mesh (0,841mm), tendo sido utilizadas somente as partículas que ficaram retidas na peneira de 20 mesh.

A densidade básica das partículas de *Eucalyptus* e algodão foi determinada de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003). Foi realizada a quantificação dos componentes químicos dos materiais lignocelulosicos com determinação dos teores de extrativos totais de acordo com a NBR 14853 (ABNT, 2010); lignina insolúvel, de acordo com a NBR 7989 (ABNT, 2010); teor de cinzas, de acordo com a NBR 13999 (ABNT, 2003), e o teor de holocelulose, obtido pela diferença entre os constituintes. Todas as análises realizadas foram em triplicatas.

Na produção dos compósitos, os resíduos de algodão foram utilizados como substituição nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% em relação à massa total de partículas

de *Eucalyptus gradis* dos compósitos. Na Tabela 1 encontra-se o plano experimental dos compósitos.

Tabela 1 - Plano experimental dos compósitos.

TRATAMENTOS	% RESÍDUO DE ALGODÃO	% PARTÍCULAS DE <i>EUCALYPTUS</i>
0	0	100
25	25	75
50	50	50
75	75	25
100	100	0

Fonte: Do autor (2021).

Para a formação dos compósitos, inicialmente, foi utilizado o cálculo de cada um dos seguintes componentes da mistura: partículas de material lignocelulósico, gesso e água. Na definição da quantidade para cada componente da mistura, foram consideradas as seguintes proporções: relação material lignocelulósico/gesso de 1/2,5 e fator água/gesso de ¼.



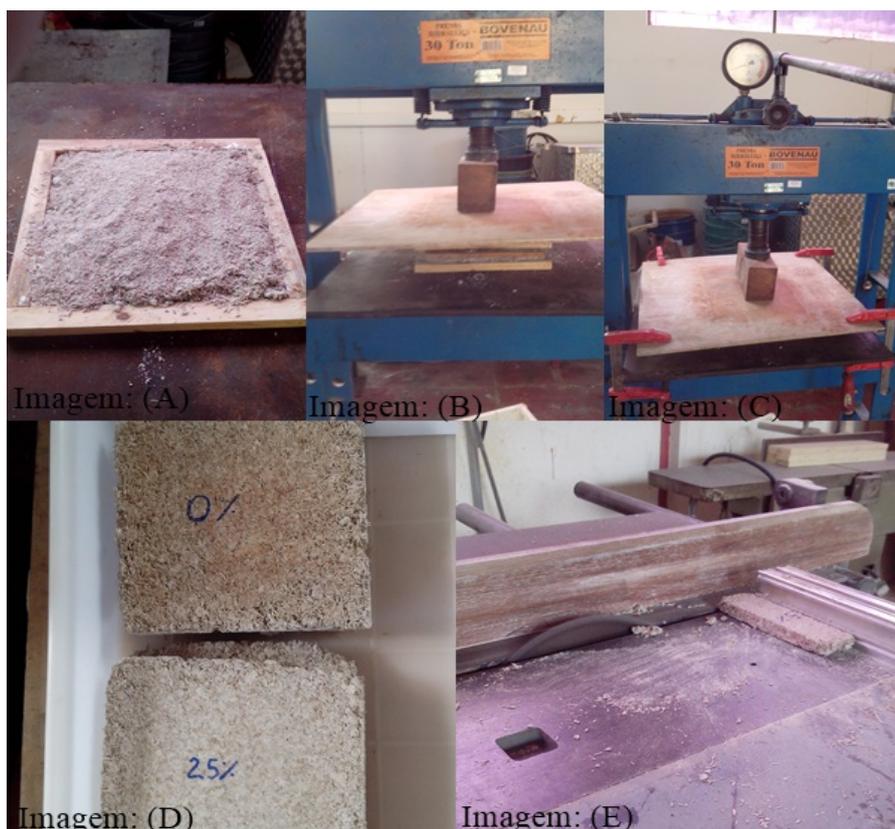
Fonte: Do autor (2021)

FIGURA 1 - Material moído e pesado para a produção dos compósitos.

Os cálculos foram realizados para densidade nominal do compósito de 1,20 g/cm³. As dimensões do mesmo foram de 20,0 cm x 20,0 cm x 1,5 cm. Após a pesagem de cada componente, estes foram misturados até a obtenção de uma massa homogênea. Em seguida, a massa de cada compósito foi devidamente separada, pesada e distribuída

aleatoriamente em placas formadoras do colchão. O controle da espessura dos compósitos foi determinado por barras de ferro com espessuras de 1,5cm.

Após o carregamento dos compósitos, a prensa foi fechada com pressão específica de 4 MPa e temperatura ambiente, realizando em seguida o grampeamento dos compósitos, ao qual permaneceram no período de 24 horas. Após esse período, os grampos foram retirados e os compósitos foram acondicionados em câmara climatizada à temperatura de 20 ± 2 °C umidade relativa de $65 \pm 3\%$, durante 28 dias, sendo então realizados os ensaios das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos.



Fonte: Do autor (2021)

FIGURA 2 - Manufatura dos compósitos gesso – *Eucalyptus* – resíduo de algodão

Imagem (A): Massa do compósito na moldura de 20cm x 20cm x 1,5 (altura x largura x espessura).

Imagem(B): Compósitos sendo prensados na prensa à mão.

Imagem (C): Compósitos já grampeados, após serem prensados.

Imagem(D): Compósitos desenformados após 24 horas.

Imagem(E): Compósitos sendo cortados para a realização dos testes.

Foram realizados os seguintes testes físicos nos compósitos: densidade do compósito, umidade na base seca, absorção de água (AA) após 2 e 24 horas e inchamento

em espessura (IE) após 2 e 24 horas; todas de acordo com recomendação da ASTM 1037 (2016). Os testes mecânicos realizados foram: tração perpendicular e compressão paralela, de acordo com a ASTM 1037 (2016) e módulo de ruptura (MOR) à flexão estática, segundo DIN 52362 (1982).



Fonte: Do autor (2021)

Figura 3 – Testes realizados.

Teste (A): Teste de Absorção de água

Teste (B): Teste Ligação Interna

Teste (C): Teste de MOR

Teste (D): Teste de Umidade

Teste (E): Teste de Compressão

Os dados obtidos foram analisados por meio do delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições por tratamento. Os resultados foram submetidos à

análise de variância e aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância, para as características das matérias primas. Na avaliação das propriedades dos compósitos aplicou-se regressão, em nível de 5% de significância.

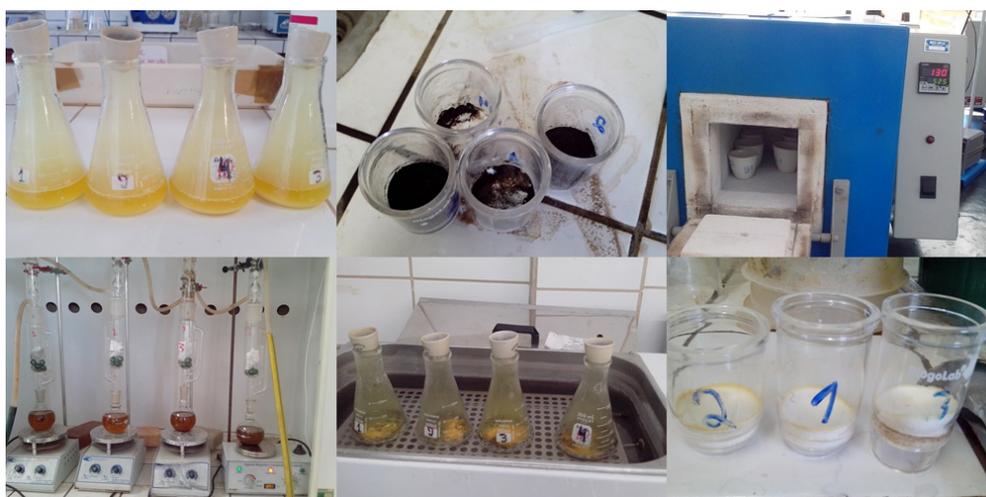
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química realizada nas fibras de algodão e partículas de *Eucalyptus* para obtenção dos valores dos materiais lignocelulósicos utilizados para a produção dos compósitos minerais está representada na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise química dos materiais lignocelulósicos.

MATERIAL	EXTRATIVOS TOTAIS (%)	LIGNINA INSOLÚVEL (%)	CINZAS (%)	HOLOCELULOSE (%)
Algodão	5,7 ± 1,00 A	12,21 ± 2,42 A	8,40 ± 1,50 B	73,79 ± 1,64 B
<i>Eucalyptus</i>	6,67 ± 0,24 B	27,18 ± 0,95 B	1,10 ± 0,27A	65,05 ± 1,48A

Fonte: Do autor (2021).



Fonte: Do autor (2021)

FIGURA 4 - Análise química dos materiais lignocelulósicos.

A quantidade de extrativos na madeira pode variar entre 5 a 30%, a quantidade de lignina pode variar de 23 a 33%, o teor de cinzas entre 0,2 a 1% e por fim, a quantidade de holocelulose entre 60 e 90%, de acordo com Sjostrom (1981), Miller (1999), Klock et al. (2005) e Mori et al. (2003).

Segundo Protásio et al., (2013) os extrativos são um grupo de substâncias

químicas heterogêneas associados aos mecanismos de defesa das plantas, que podem ocorrer por influência de fatores genéticos e também por fatores edafoclimáticos. Medeiros et al. (2016) no estudo de clones de *Eucalyptus grandis* observaram valores médios para o teor de extrativos totais de 6,51%, sendo próximo ao observado nesta pesquisa. Influências na interação entre a matriz e o reforço num compósito podem ser derivadas da presença de grande quantidade e também do tipo de extrativos nos materiais lignocelulósicos, visto que alguns desses compostos agem bloqueando os espaços vazios do material lignocelulósico, dificultando o contato com a matriz.

Na análise de cinzas o valor observado para a capucho de algodão pode ser considerado elevado, sendo assim um fator prejudicial e até limitante ao uso de matérias-primas lignocelulósicas, segundo Brito e Barrichelo (1979), já que, elevados teores podem prover desgaste excessivos em equipamentos cortantes, tais como moinhos e serras.

A lignina no algodão foi de 12,21%, sendo menor que o valor encontrado na análise do *Eucalyptus*, que apresentou um valor de 27,18%, próximo ao encontrado por Medeiros et al. (2016) que, ao estudarem as propriedades físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus urograndis*, obtiveram os teores de lignina de 26,7%.

Em materiais com alto teor de lignina geralmente apresentam maior rigidez, menor absorção de água e maior resistência à compressão, conferindo assim, impermeabilidade, rigidez e resistência a ataques mecânicos e biológicos aos tecidos vegetais (Bhatia; Johri; Ahmad, 2012).

Na Tabela 3 podem ser observados os valores médios para densidade básica das partículas de capucho de algodão e madeira de *Eucalyptus*. Pode-se observar que a densidade da madeira foi superior ao do resíduo lignocelulósico. Este valor influencia na quantidade de partícula empregada na formação do compósito, pois está diretamente relacionado a sua massa. Materiais lignocelulósicos com densidades mais elevadas conferem um baixo grau de compactação e como consequência geram um compósito de baixa qualidade mecânicas (SILVA et al., 2005). Sorfa; Bongers (1982), salientam que além da composição do compósito, a densidade apresenta alta influência na resistência de compósitos.

Tabela 3 - Densidade do *Eucalyptus* e do resíduo de algodão.

TRATAMENTO	DENSIDADE(g/cm ³)
------------	-------------------------------

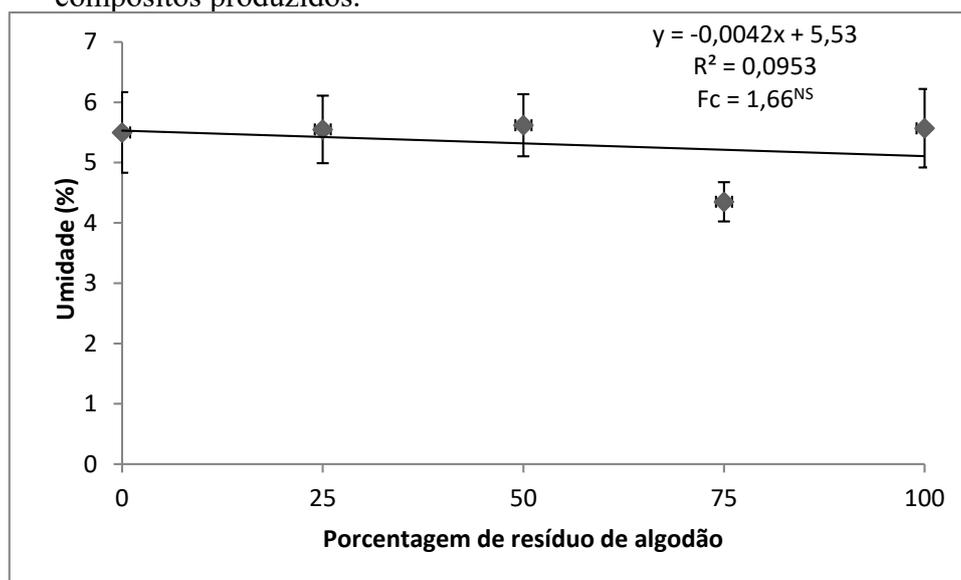
Resíduo de algodão	0,15 ± 0,03 A
<i>Eucalyptus</i>	0,34 ± 0,05 B

As médias seguidas da mesma letra nas colunas, não se diferem pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2021).

Na Figura 5 observa-se o comportamento da umidade na base seca do compósito em relação a substituição das partículas de *Eucalyptus* por capucho de algodão. Nota-se que não houve efeito significativo entre as variáveis estudadas, sendo que o valor médio para essa variável foi de 5,32%. Esse comportamento se deve ao fato de que os compósitos foram mantidos acondicionados em sala climatizada com temperatura de $\pm 20^{\circ}\text{C}$ e umidade de $\pm 20\%$, sendo valores constantes.

Figura 5 - Influência da porcentagem de resíduo de algodão na umidade (%) dos compósitos produzidos.



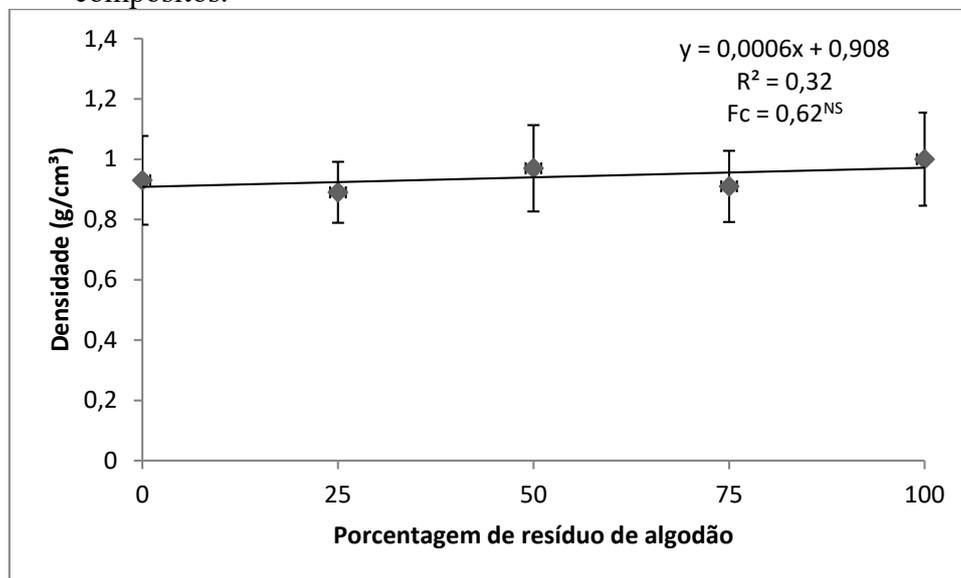
Fonte: Do autor (2021).

A umidade não apresenta uma variância significativa quando há o aumento de resíduo de algodão.

Os resultados de densidade dos compósitos em relação a substituição de *Eucalyptus* por capucho de algodão podem ser visualizados na Figura 6. O aumento do resíduo de algodão nos compósitos não afetou significativamente os resultados, sendo que o valor médio para essa propriedade foi de $0,94 \text{ g/cm}^3$. Esses resultados ficaram dentro do intervalo no estudo feito por Morales-Conde et al. (2016), encontraram valores

para a densidade específica entre 602 e 1300 kg/m³ quando incorporados resíduos de madeira de demolição em compósitos à base de gesso.

Figura 6 - Influência da porcentagem de resíduo de algodão na densidade (g/cm³) dos compósitos.

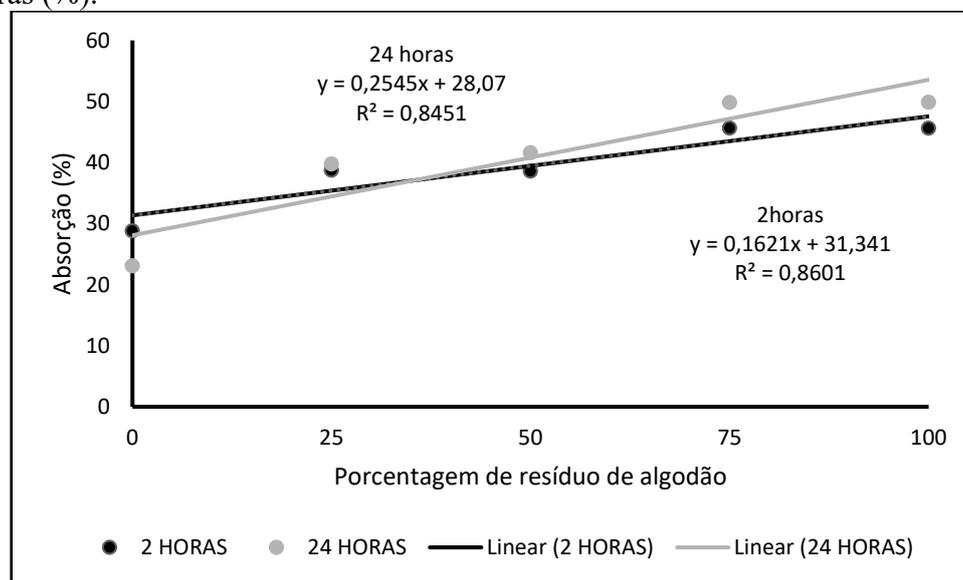


Fonte: Do autor (2021).

Na Figura 7 pode-se observar os resultados de absorção de água após 2 e 24 horas. Nota-se que em ambos ocorreu aumento linear da absorção quando da substituição da madeira pelo resíduo de algodão. Para AA2 nota-se que a substituição de 1% de resíduo promoveu acréscimo da propriedade em 0,1621%; enquanto que para AA24 o acréscimo foi de 0,2545%. Esse comportamento pode ter ocorrido devido ao fato de o material de algodão apresentar baixos valores de densidade. Isso faz com que haja necessidade de maiores quantidades volumétricas a serem compactadas no compósito, favorecendo a maior absorção de água no mesmo.

Haselein et al. (2002) utilizaram gesso como material cimentante, papel reciclável dissociado (jornal e offset) e partículas de madeira de pinus como reforços para confecção de chapas aglomeradas, ao avaliarem a AA2 foram encontrados valores entre 28,73% e 36,66% e para AA24, observaram valores entre 28,84% e 43,55%, sendo estes valores abaixo dos observados neste trabalho.

Figura 7 - Influência da porcentagem de resíduo de algodão na absorção de água em 2 e 24 horas (%).

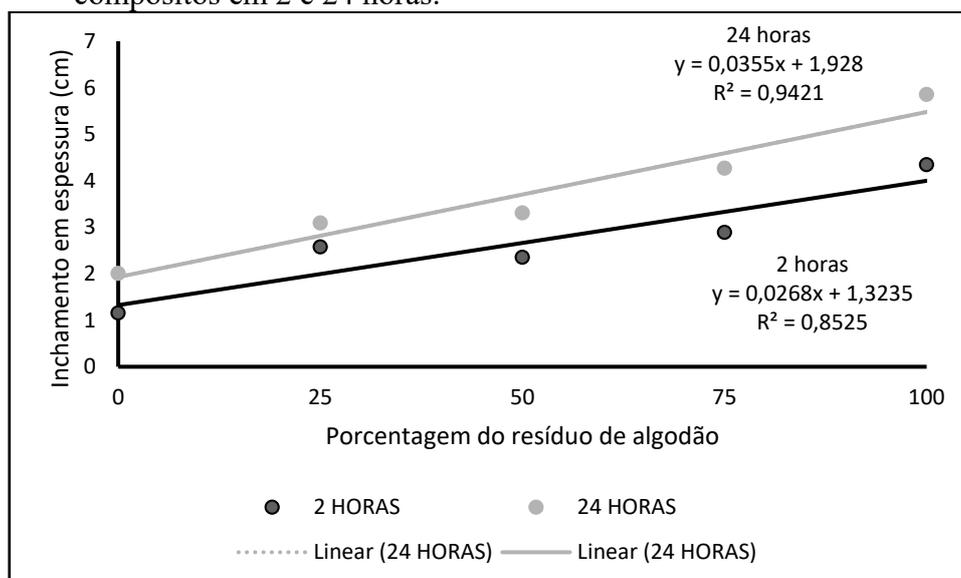


Fonte: Do autor (2021).

Na Figura 8 pode-se observar o comportamento de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão do compósito. Observa-se que houve acréscimo destas propriedades à medida que se aumentava a quantidade de substituição da madeira por resíduo de algodão. Isso se deve ao fato de a densidade do resíduo se apresentar inferior a da madeira de *Eucalyptus*. Esse efeito ocorre porque os materiais lignocelulósicos apresentam grupos hidroxílicos (OH-) livres, principalmente na região amorfa da celulose e hemicelulose. Com aumento das porcentagens desses materiais nos compósitos, os mesmos estariam predispostos a adsorverem umidade, refletindo no seu aumento em espessura (Guimarães Junior et al., 2013).

Haselein et al. (2002) utilizaram gesso como material cimentante, papel reciclável dissociado (jornal e offset) e partículas de madeira de pinus como reforços para confecção de chapas aglomeradas, ao avaliarem a IE2, encontraram valores entre 1,00 e 4,26% e para IE24, observaram valores entre 1,00 e 6,83%. Desta forma, nota-se que os valores observados nesta pesquisa estão próximos aos observados na literatura.

Figura 8 - Influência da porcentagem de resíduo de algodão no inchamento (cm) dos compósitos em 2 e 24 horas.



Fonte: Do autor (2021).

3.1 Propriedades Mecânicas dos compósitos

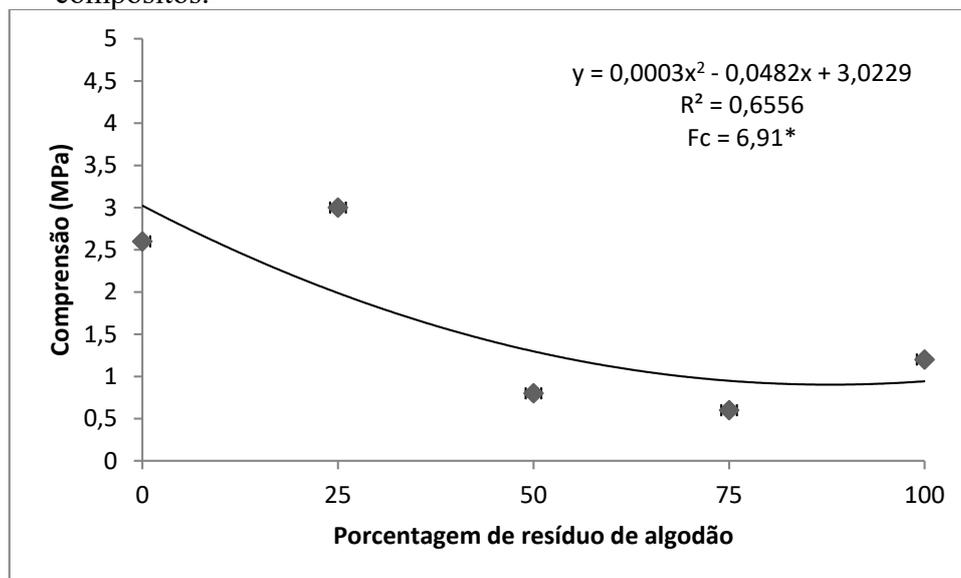
3.1.1 Resistência à compressão

Na Figura 9, observa-se que houve efeito significativo para compressão a medida em que se substituíu a madeira de *Eucalyptus* por resíduo de algodão. O melhor ajuste para essa propriedade foi a regressão polinomial de grau 2. O ponto onde se pode observar o valor mínimo da propriedade de compressão é com a inserção de 80,33% de resíduo de algodão, observando valor de resistência de 1,08 Mpa e o ponto de valor máximo foi de 25,17%.

Essa tendência pode ser compreendida devido ao fato de que o componente químico da parede celular lignocelulósica que melhor contribui com a propriedade de resistência à compressão é a lignina. Como visto anteriormente, o resíduo de algodão apresenta baixos valores quando comparado com a madeira de *Eucalyptus*, favorecendo então essa redução de resistência.

A norma EN 13279-2 (European Standards, 2006) define 2,0 MPa como o requisito mínimo para a resistência à compressão em materiais compósitos a base de matriz de gesso. Substituindo esse requisito da norma na regressão ajustada, nota-se que a porcentagem máxima de substituição de madeira por resíduo para que haja atendimento da mesma é de 25,17%.

Figura 9 - Influência da porcentagem de resíduo de algodão na compressão (MPa) dos compósitos.

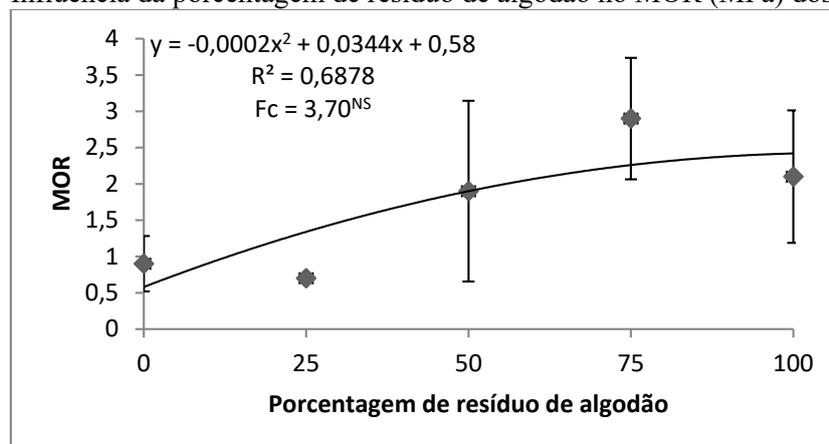


Fonte: Do autor (2021).

Na Figura 10 pode-se observar o comportamento do MOR na flexão estática, quando há substituição da madeira por resíduo de algodão. Nota-se que não houve efeito significativo, sendo que o valor médio observado foi de 1,7 MPa. Esse valor médio foi superior ao exigido pela norma EN 13279-2 (European Standards, 2006), que define 1,0 MPa como o requisito mínimo para resistência à flexão em compósitos de matriz de gesso.

Haselein et al. (2002) utilizaram gesso como material cimentante, papel reciclável dissociado (jornal e offset) e partículas de madeira de pinus como reforços para confecção de chapas aglomeradas, ao avaliarem resistência à flexão, observaram valores variando entre 0,7 e 8,35Mpa. Desta forma, nota-se que os valores observados nesta pesquisa estão dentro do intervalo observado na literatura.

Figura 10 - Influência da porcentagem de resíduo de algodão no MOR (MPa) dos compósitos.



Fonte: Do autor (2021).

4 CONCLUSÕES

Os compósitos são indicados para utilização em interiores e sua desvantagem com o contato à umidade é reduzido, portanto como houve incremento na característica de absorção, isso pode ser desconsiderado.

Na análise de compressão, a máxima substituição de *Eucalyptus* por resíduo de algodão é de 25,17%, em consequência de o capucho de algodão possuir baixos valores de lignina, essa sendo responsável por contribuir à resistência ao compósito, validando o uso desse resíduo à estudos para a melhoria na propriedade mecânica.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D-1037. Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philadelphia: Annual book of ASTM Standard, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, ABNT, NBR 13999, Papel, tábua, polpas e madeira - determinação de resíduo (cinzas) na ignição a 525 °C, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, ABNT, NBR 14853, Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona, Rio de Janeiro, 2010.

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, dez. 2012.

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

DIN. NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength: DIN 52362. Berlin, 1982, 40 p.

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

GUIMARÃES JUNIOR, J. B., MENDES, L. M., MENDES, R. F., GUIMARÃES, B. M. R., & MELO, R. R. (2013). Efeito do teor de parafina nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Pinus oocarpa*. *Ciência da Madeira*, 4(1), 72-82.

HASELEIN, C. R., CALEGARI, L., ALBERTI, L. F., MINELLO, A. L., SILVA, P. A., & PINTOS, R. G. F. Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante. **Ciência Florestal**, v.12, n.1, p. 81-88, 2002.

HULL, D.; CLYNE, T. W. **An Introduction to Composite Materials**. 2nd. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

KELLY, A. (Ed.). An Introduction to Composite Materials. In: **CONCISE Encyclopedia of Composite Materials**. Oxonia: Pergamon Press, 1994.

KLOCK, U., MUÑIZ, G. I. B., HERNANDEZ, J. A., & ANDRADE, A. S. **Química da madeira** (3. ed.). Curitiba: UFPR, 2005.

MAXWELL, M. Fibras Naturais. In: Fibras Naturais. [S. l.], 18 fev. 2014. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5271/5271_3.PDF. Acesso em: 20 fev. 2021.

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.

MESQUITA-JUNIOR, L. **Desenvolvimento e análise de compósitos à base de gesso com adição de resíduos de pneu e partículas de madeira de *Eucalyptus grandis***. 2018. 77 p. (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras: Lavras, 2018.

MILLER, R. B. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: Forest Products Laboratory, 1999. 463 p.

MORALES-CONDE, M. J., Rodríguez-Liñán, C., & Pedreño-Rojas, M. A. (2016). Physical and mechanical properties of wood-gypsum composites from demolition material in rehabilitation works. **Construction & Building Materials**, v. 114, p. 6-14, 2016.

MORI, F. A., MENDES, L. M., TRUGILHO, P. F., & CARDOSO, M. G. Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. **Food Science and Technology**, v. 23, n.3, p. 396-400, 2003.

PINTO, N.A., FIORITI, C.F., BERNABEU, J.P., *et al.*, “Avaliação de matriz de gesso com incorporação de borracha de pneus para utilização na construção civil,” **Revista Tecnológica**, v. 25, n. 1, pp. 103–117, 2016.

PROTÁSIO, T. P., BUFALINO, L., GUIMARÃES JUNIOR, M., TONOLI, G. H. D., & TRUGILHO, P. F. Técnicas multivariadas aplicadas a avaliação de resíduos lignocelulosicos para a produção de bioenergia. **Ciência Florestal**, v. 23, n.4, p. 771-781, 2013.

SILVA, G. C.; LATORRACA, J. V. F.; TEIXEIRA, D. E.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção do compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e cimento Portland. *Scientia Forestalis*, n. 68, p. 59-67, 2005.

SJOSTROM, S. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. London: Academic, 1981.

SORFA, P.; BONGERS, J. Wood-cement composite building units: part 1. Pretoria: National Timber Research Institute, 24 p, 1982.