



DIOGO ANTONIO CORREA GOMES

**POTENCIAL DA PALMEIRA DE JUPATI PARA PRODUÇÃO
DE MATERIAIS COMPÓSITOS**

LAVRAS – MG

2022

DIOGO ANTONIO CORREA GOMES

**POTENCIAL DA PALMEIRA DE JUPATI PARA PRODUÇÃO DE MATERIAIS
COMPÓSITOS**

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.

D.Sc. José Benedito Guimarães Júnior
Orientador

D.Sc. Marcela Gomes da Silva
Coorientadora

D.Sc. Gracialda Costa Ferreira
Coorientadora

LAVRAS - MG

2022

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

Gomes, Diogo Antonio Correa.
Potencial do Pecíolo da Palmeira de Jupati Para
Produção de Materiais Compósitos / Diogo Antonio Correa
Gomes. - 2022.
97 p.

Orientador(a): José Benedito Guimarães Júnior.
Coorientador(a): Marcela Gomes da Silva Silva,
Gracialda Costa Ferreira Ferreira.
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade
Federal de Lavras, 2022.
Bibliografia.

1. Painéis Aglomerados. 2. Compósito de Gesso. 3.
Compósito Polimérico. I. Guimarães Júnior, José Benedito.
II. Silva, Marcela Gomes da Silva. III. Ferreira, Gracialda
Costa Ferreira. IV. Título.


DIOGO ANTONIO CORREA GOMES

**POTENCIAL DA PALMEIRA DE JUPATI PARA PRODUÇÃO DE MATERIAIS
COMPÓSITOS
POTENTIAL OF THE JUPATI PALM TREE FOR THE PRODUCTION OF
COMPOSITE MATERIALS**

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: 12/12/2022

D.Sc. José Benedito Guimarães Júnior- Universidade Federal Lavras (UFLA)
D.Sc. Marcela Gomes da Silva- Universidade Federal Amazonia (UFRA)
D.Sc. Gracialda Costa Ferreira- Universidade Federal Amazonia (UFRA)
D.Sc. Barbara Ribeiro Maria Guimarães- Universidade Federal Ceara (UFC)
D.Sc. Taís Brito Souza- Universidade Estadual Minas Gerais (UEMG)
D.Sc. Josy Antevéli Osajima- Universidade Federal Piauí (UFPI)

Documento assinado digitalmente
 JOSE BENEDITO GUIMARAES JUNIOR
Data: 25/08/2023 11:31:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

D.Sc. José Benedito Guimarães Júnior
Orientador

D.Sc. Marcela Gomes da Silva
Coorientadora

D.Sc. Gracialda Costa Ferreira
Coorientadora

LAVRAS - MG

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por estar presente comigo nesta trajetória e por vencer essa etapa do mestrado.

Á meu pai, Marcos, pelo carinho e apoio nessa trajetória sempre ao meu lado em todos os momentos e a minha mãe, Nilza (*In Memoriam*), pela sabedoria que me passou durante os nossos anos de convivência e um desses ensinamentos: não desanimar nos momentos difíceis da vida.

Aos meus amigos, que sempre estive ao meu lado durante esses períodos de estudos.

Agradeço a Universidade Federal Lavras e o Programa de pós-graduação em Engenharia de Biomateriais pela oportunidade de estar realizando o mestrado.

A meus orientadores pela disponibilidade e ajuda no desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço também pela bolsa de estudos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), para assim poder estar realizando esta dissertação.

RESUMO

O jupati (*Raphia Taedigera*) é uma palmeira abundante na floresta Amazônica com alto potencial de reaproveitamento. Na região norte do Brasil, a principal finalidade da palmeira é a extração de seu óleo e a utilização do pecíolo para produção de móveis comerciais. Avaliando a quantidade de pecíolo descartado, surgiu-se um interesse do seu estudo “*in natura*” a fim de avaliação das suas propriedades químicas e microestruturais e possível potencial para aplicação em diferentes matrizes. O objetivo desta pesquisa é, neste contexto, a verificação da viabilidade do uso de partículas do pecíolo do jupati em três diferentes materiais compósitos: painel aglomerado de baixa densidade, compósito a base de gesso e compósito polimérico. Em ambos os compósitos foram avaliadas as propriedades físicas, mecânicas e microestruturais. Um dos principais comportamentos desses compósitos foi o bom desempenho térmico e acústico. Novas pesquisas precisam ser realizadas, entretanto, submetendo as partículas ao pré-tratamentos visando melhorar às propriedades do material.

Palavras-Chave: Biosistemas. Fibras Vegetais. Matriz. Reforço.

ABSTRACT

The jupati (*Raphia Taedigera*) is an abundant palm in the Amazon Forest with high potential for reuse. In the north of Brazil, the main purpose of the palm tree is to extract its oil and use the petiole to produce commercial furniture. Evaluating the amount of petiole discarded, an interest in its study "in natura" arose in order to evaluate its chemical and microstructural properties and possible potential for application in different matrices. The objective of this research is, in this context, to verify the feasibility of using particles from the petiole of the jupati in three different composite materials: low-density particleboard, gypsum-based composite and polymeric composite. In both composites, the physical, mechanical and microstructural properties were evaluated. One of the main purposes of these composites was the good thermal and acoustic behavior. New research needs to be carried out, therefore, subjecting the particles to pre-treatments in order to improve the material's properties.

Keywords: Biosystems. Plant Fibers. Matrix. Reinforcement.

SUMÁRIO

	1ª PARTE - INTRODUÇÃO, REFERENCIAL TEÓRICO E CONCLUSÃO	8
1	INTRODUÇÃO	8
2	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1	Importância da floresta amazônica	10
3.2	Palmeira de jupati (<i>Raphia taedigera</i>)	10
3.3	Materiais compósitos	12
3.3.1	Painéis de madeira aglomerada	13
3.3.2	Compósitos de gesso	14
3.3.3	Compósitos poliméricos	15
4	CONCLUSÃO	16
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
	2ª PARTE - ARTIGOS	23
	ARTIGO 1 - PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LOW-DENSITY PARTICLEBOARDS OF AMAZON JUPATI PALM AND PINEWOOD	23
	ABSTRACT	24
	HIGHLIGHTS	25
	GRAPHIC SUMMARY	25
	INTRODUCTION	25
	MATERIAL AND METHODS	26
	RESULTS AND DISCUSSION	30
	CONCLUSION	39
	REFERENCES	39
	ARTIGO 2 - COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO REFORÇADOS COM FIBRA DE PALMEIRA DA REGIÃO AMAZÔNICA	44
	HIGHLIGHTS	45
	RESUMO	45
	RESUMO GRÁFICO	46
	INTRODUÇÃO	46
	METODOLOGIA	47
	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	62

ARTIGO 3 - VALORIZATION OF RECYCLED LOW-DENSITY POLYETHYLENE AND BIOMASS FROM THE AMAZONIAN PALM TREE THROUGH THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS	68
HIGHLIGHTS	69
ABSTRACT.....	69
GRAPHIC ABSTRACT.....	70
INTRODUCTION	70
MATERIAL AND METHODS	72
RESULTS AND DISCUSSIONS.....	76
CONCLUSIONS.....	85
APPENDICES.....	86
ACKNOWLEDGEMENTS	87
REFERENCES	88
TRANSLATION STATEMENT	95

1ª PARTE – INTRODUÇÃO, REFERENCIAL TEÓRICO E CONCLUSÃO

1-INTRODUÇÃO

A área de vegetação do Brasil equivale a 64,30 % de seu território. Considerando exclusivamente as florestas, a cobertura é de 57,30% do país, cobrindo uma área de 487.991.966 hectares em 2019. A Amazônia apresenta quase 79,50 % de seu território coberto por floresta tropicais, enquanto a Mata Atlântica e o Pampa apresentam apenas 13,00 % cada (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO- SNIF, 2020).

A preservação de áreas de vegetação tem sido realizada através do aproveitamento de recursos agrícolas e florestais; por isso cientistas estão realizando pesquisas com esses recursos: casca do coco (NARCISO et al., 2021), bagaço de cana açúcar (SOARES et al., 2017), endocarpo café (SCATOLINO et al., 2017), casca do arroz (AYRILMIS et al., 2012), pecíolo de jupati (VELOSO et al., 2020), resíduos trigo (GOMES et al., 2022) , resíduos feijão (DE NOVAIS MIRANDA et al., 2022) dentre outros. Por tanto uma opção para tais gargalos é estar realizando adição ou substituição na matriz buscando as seguintes finalidades: consciência ambiental, baixo custo de produção e atrativos na combinação de propriedades química, física, mecânica (KUQO; MAI, 2021).

Os materiais compósitos são materiais confeccionados pela junção de uma matriz e um reforço oriundo do aproveitamento de materiais vegetais que assim são criados produtos que apresentam melhores desempenhos das propriedades química, física e mecânica. (JAUHARI et al., 2015).

Um dos recursos com potencial para aplicação como reforço, presente de forma abundante na região da floresta amazônica, é o pecíolo de jupati, uma parte da planta que é liberada com as folhas. Por isso surgiu a possibilidade avaliação deste material em diferentes matrizes na produção dos seguintes materiais compósitos: 1) painel aglomerado, 2) compósito de gesso e 3) compósito polimérico.

2-ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação apresenta vários tópicos a ser abordados e todos os conteúdos presentes estão organizados nas partes abaixo:

- **1ª parte - Introdução, Referencial Teórico e Conclusão:** Nesta parte será abordado de maneira geral as diferentes matrizes que foram utilizadas e assim a aplicação com material reforço. E também um levantamento de trabalhos existentes na literatura e conceitos sobre matriz e reforço.
- **2ª parte – Produção de painéis aglomerados de baixa densidade com pecíolos de jupati (Artigo 01):** Nesta parte da dissertação será determinada de forma específica a produção de painéis aglomerados utilizando o pecíolo. Assim podendo estar realizando a avaliação em diferentes porcentagens.
- **2ª parte – Produção compósitos de gesso com diferentes porcentagens do pecíolo de jupati (Artigo 02):** Nesta parte da dissertação será avaliado o efeito de partículas de baixa densidade nos compósitos de gesso assim tendo a avaliação das propriedades físicas e mecânicas em diferentes porcentagens.
- **2ª parte – Avaliação das partículas de baixa densidade na produção de compósitos poliméricos (Artigo 03):** Nesta parte da dissertação será avaliado o comportamento das partículas de baixa densidade quando entram em contato com a matriz polimérica assim podendo ser avaliado as diferentes porcentagens avaliando propriedades físicas e mecânicas.

3-REFERENCIAL TEÓRICO

3.1- IMPORTÂNCIA DA FLORESTA AMAZÔNICA.

A floresta amazônica é um dos biomas de grande importância ecológica devido a sua alta diversidade da fauna e flora. Em determinados períodos do ano de 2019 tivemos um aumento do consumo de produtos à base de celulose. Essa floresta possui uma vasta extensão de mais de 4 milhões de quilômetros quadrados, ocupando 49,29 % do território brasileiro, segundo dados (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2020).

O setor florestal no ano de 2020, representavam mais de dois milhões de postos de trabalho diretos e indiretos, sendo assim foram ágeis na promoção de mudanças de operação, principalmente, frente a pandemia Covid-19, já que essa forma de trabalho teve que ser reformulado nas indústrias visando preservar a saúde dos funcionários (HARTUNG, 2020). Na análise de Cordeiro et al. (2020), os derivados da celulose foram impactados de forma diferenciada na pandemia Covid-19, principalmente, com relação a produção de papeis para utilização da higiene pessoal.

Algumas das premissas da floresta amazônica e na produção de um fluxo contínuo de produtos e serviços demandados pela sociedade gerando produtividade futura e preservação dos recursos. (INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION- ITO, 2020). No entanto, esse manejo desses recursos ainda carece de modelos analíticos facilmente interpretáveis, principalmente, devido ao grande número de espécies amazônicas ainda para ser descoberta às espécies. (NASCIMENTO, 2016).

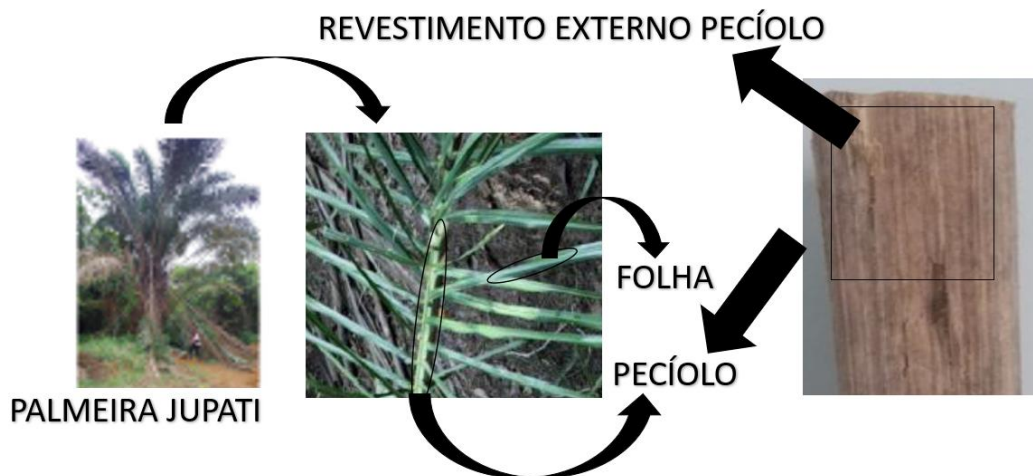
3.2- PALMEIRA DE JUPATI (*RAPHIA TAEDIGERA*)

Uma das espécies contidas na floresta amazônica é o jupati. Essa espécie está presente também nos seguintes continentes: América do Sul, América Central e África. Na América do Sul essa espécie tem maior presença na floresta amazônica, local que apresenta clima tropical para o desenvolvimento de diversas palmeiras. Essas palmeiras são ecossistemas importantes para a proteção da flora e fauna. Por isso ainda estão em estudos melhores maneiras de aproveitar esses materiais vegetais. (DARGIE et al., 2017; STAUFFER et al., 2017).

A palmeira de Jupati (Figura 01) possui as seguintes características: altura maior que 3 metros, folhas pinadas, presença de acúleos nas margens e nervura central dos folíolos. (STAUFFER et al., 2017). A reprodução ocorre de forma monóica, com flores masculinas e femininas e são hapaxânticos, o que significa que os estipes individuais morrem após um único evento de floração com isso a formação dos frutos (VALKENBURG et al, 2008). Os frutos, por exemplo, apresentam óleo em pequena escala, este produto é de baixa qualidade (alta acidez). (CONCEIÇÃO et al., 2011).

O pecíolo é região da planta que deve ser utilizada para substituição da madeira convencional e reforços de materiais compósitos. A tala é o revestimento externo do pecíolo (Figura 01), constituída por fibras duras, utilizada na fabricação de diversos produtos (JARDIM, 2013). Já Santos (2019) discorre que a seção circular da superfície fina das células do pecíolo é empacotada e apresenta um comportamento similar ao de espumas flexíveis com relação a ação de deformação no sentido transversal às fibras.

Figura 1 – Partes da Palmeira Jupati



Legenda: Primeira imagem mostra a palmeira de Jupati, depois e detalhado a parte da folha e do pecíolo, na última imagem podemos ver o revestimento externo do pecíolo.

Fonte: Adaptado: HELMSTETTER et al., (2020) e Jardim, (2013).

Essa matéria prima, abundante na região da floresta amazônica, é comumente utilizado para confecção de bancos. De acordo com Santos (2019), utiliza-se, neste sentido, o pecíolo, cortado em forma de trapézio, para aperfeiçoamento do encaixe das peças, fixando-as com cola. O banco tem a forma de espiral e a altura dos pecíolos é reduzida à medida que os raios das circunferências diminuem, proporcionando economia de material (Figura 2).

Figura 2 - Confeção dos bancos com pecíolo



Fonte: Santos, (2019).

A utilização deste material da Figura 02, desse modo, gera valor agregado a matéria prima. Assim é capaz de aumentar a competitividade das empresas de compósitos e painéis aglomerados contribuindo com menos matéria prima nobre para produção dos produtos. (STAUFFER et al., 2017).

3.3- MATERIAIS COMPÓSITOS

Os elementos de um compósito podem ser orgânicos ou inorgânicos, de forma regular ou irregular, fibroso ou não, com fragmentos ou como fibras curtas. Sendo que os parâmetros estruturais afetam o desempenho dos compósitos, tais como a concentração da fibra, adesão à matriz e os espaços vazios entre as partículas ou fibras. (PAULA; SILVA, 2016).

Os compósitos apresentam a união de dois ou mais materiais tendo uma matriz e um reforço. A fase contínua é denominada matriz e possui a função de proteger o reforço. Nos compósitos particulados a matriz é colocado de forma aleatória ou orientada assim esse reforço tem a finalidade de melhorar às propriedades físicas, mecânicas e microestruturais trazendo um bom desempenho do material. (JAUHARI et al., 2015).

3.3.1- PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

Um dos materiais compósitos mais consumidos no mundo são os painéis aglomerados. De acordo com (INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES- IBÁ,2020), o consumo destes painéis no Brasil no ano de 2020 foi cerca de 2,8 milhões de metros cúbicos. Apesar destes números, outros países ainda estão à frente desta produção como a China, que produz cerca de 50,00 % de todos painéis de madeira no mundo, enquanto que o Brasil produz apenas 3,00 % (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS- FAO, 2019).

A utilização de madeira, principal matéria-prima dos aglomerados, nos últimos anos vem sofrendo rigorosas fiscalizações em relação a realização de corte; conseqüentemente o custo por metro cubico do material apresentou alto assim surge a necessidade do estudo de painéis de madeira aglomerada com a inserção de resíduos agrícolas e agroflorestais contribuindo com uma menor utilização de madeira em pé. O mesmo aconteceu na Alemanha no início da década de 1940, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, devido à dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para a produção de painéis devido ao isolamento da Alemanha na 2º Guerra Mundial. (IWAKIRI, et al., 2020).

Os painéis aglomerados de partículas (*Pinus oocarpa* e *Eucalypto grandis*) a união acontece com adesivo sintético termoendurecedores (uréia-formaldeído, melanina-formaldeído, fenol-formaldeído, resorcina-formaldeído e tanino-formaldeído) seguido do processo de prensagem a quente sob pressão. (GUIMARÃES JÚNIOR, et al., 2017). A utilização das partículas acontece com o processamento da madeira e nesta parte vem sendo utilizado subprodutos para substituição da madeira maciça por partículas lignocelulósicas agrícolas e agroindustriais originando produtos com melhor desempenho a diversos setores. (FARIA, et al., 2020, IWAKIRI, et al., 2020; VELOSO et al., 2020; RIBEIRO, 2019, SILVA, 2016).

As resinas mais utilizadas que compõe os painéis de madeira são produtos provenientes da reação entre ureia, melamina ou fenol com formaldeído. A resina de ureia-formaldeído (UF) - produzidas em solução aquosa, com teor de sólidos entre 60 e 70 %, coloração branca leitosa, pH na faixa de 7,4 a 7,8 e viscosidade na faixa de 400 a 1000 cP à 25 °C; fenol-formaldeído (FF)- que apresenta coloração marrom avermelhado, teor de sólidos entre 48 e 51 %, pH na faixa de 11 a 13, viscosidade entre 300 e 600 cP e temperatura de cura na faixa de 130 a 150 °C; e melanina-formaldeído – que apresenta coloração branca leitosa, possui maior resistência

à água que a ureia formaldeído e cura mais rápida com relação a fenol formaldeído (IWAKIRI, et al., 2020).

Uma das propriedades mais importantes para avaliação destes painéis aglomerados é a razão de compactação, relação existente entre a massa específica do painel e da madeira utilizada. Esta razão apresenta o grau de densificação do material. A espécie de madeira para obter boa razão de compactação deve possuir baixa densidade. O valor adequado da razão de compactação para a produção de painel particulado encontra-se na faixa de 1,3 a 1,6 e, por isso, as espécies de menor densidade são as mais recomendadas (KELLY, 1977; MALONEY, 1993). Os valores acima de 1,6 melhoram as propriedades de resistência, no entanto, o inchamento em espessura será maior pelo fato de um maior volume de material que sofre a compressão na fase de prensagem (IWAKIRI, et al., 2020).

Com relação as propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados, vários outros fatores são essenciais para um produto final adequado, dentre eles destacam: umidade das partículas, tipo e teor de adesivos, temperatura e pressão na hora da prensagem. (VILELA, 2016).

Devido a grande demanda de materiais pela indústria novos painéis de madeira vêm sendo estudado e assim partículas lignocelulosicas são incorporadas e maneiras de substituir o adesivo por fontes naturais também vem sendo desenvolvida. Podemos destacar os seguintes estudos na utilização de resíduos na produção de painéis: pecíolo de jupati (VELOSO et al., 2020), casquilho de soja (GUIMARÃES et al., 2019), bagaço de sorgo (GUIMARÃES JUNIOR et al., 2017); pergaminho do grão de café (SCATOLINO et al., 2017); madeira do (DA SILVA CÉSAR et al., 2014); bagaço cana açúcar (MENDES et al., 2012) e dentre outros presentes na literatura.

3.3.2- COMPÓSITOS DE GESSO

Outro importante compósito existente são as matrizes obtidas pelo gesso. A matéria prima básica para obtenção do gesso é a gipsita. Esse mineral é encontrado em estado natural e possui uma estrutura cristalina prismática monoclinica. O processo de obtenção do gesso ocorre a extração do minério gipso conformado por anidrita, gipsita e algumas impurezas. Em seguida consiste na trituração do minério por britagens, moagens e peneiramento, para ser uniformada a partir da sua granulometria e posteriormente estocada para ser comercializada (PINHEIRO, 2011; OLIVEIRA, 2009).

Para extração de aglomerantes da natureza temos um impacto ambiental em todas as etapas. No processo produtivo do cimento o forno funciona em altas temperaturas (1400 °C – 2000 °C) liberando altos teores de gás carbônico. Na calcinação da gipsita, o calor varia (140°C-150°C), neste processo temos uma perda de água e o material forma di-hidratada. Para ter a reação inversa deve ser adicionado água ocorrendo a reação exotérmica da pasta. (PINTO, 2016).

Durante a preparação da pasta no início da pega temos um aumento da temperatura e juntamente a concentrações de cristais esse transcurso ocorre até na fase de endurecimento. Os primeiros períodos de secagem temos uma redução do volume de água, densidade aparente baixa, porosidade material, conformação dos cristais e quando não e bem aderido na pasta tem o aparecimento de fissuras. Com decorrer destas fases temos atingimento da resistência a tração que varia, aproximadamente de 0,7 a 3,5 MPa e a compressão entre 5,0 e 15 MPa. (SILVA et al., 2016, SOPHIA et al., 2016).

Os materiais de gesso em combinação com fibras vegetais de baixa densidade apresenta bons desempenhos na condutividade térmica e acústica. Determinadas fibras precisam de tratamento para a remoção de extrativos, com isso o compósito apresenta melhor formação dos cristais e menores presenças de fissurações. (DE NOVAIS MIRANDA et al., 2022, SILVA et al; 2016).

O potencial destes produtos vegetais está sendo produzidos compósitos de matriz de gesso reforçado em formato de fibras ou partículas. Devido a presença destes recursos pesquisas foram realizadas utilizando os seguintes subprodutos: resíduo do cacau (VELOSO et al., 2020), partículas de trigo (GOMES et al., 2022), partículas de feijão (DE NOVAIS MIRANDA et al., 2022), fibra de palmeira (BRAIEK et al., 2017), dentre outros.

3.3.4- COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Um das soluções é a reciclagem com a finalidade de obter: economia de energia, preservação das fontes não renováveis, redução de custos nos novos produtos poliméricos e melhores propriedades dos materiais compósitos formados (PAULA; SILVA, 2016). O compósito polimérico (*Wood Plastic Composite -WPC*) é um material constituído por uma matriz polimérica reforçado com partículas ou fibras vegetais. (LIUKKO et al.; 2007). A composição do WPC varia geralmente entre 30 -70% de material lignocelulósico, 30-55% polímero e 0,5- 15% aditivos. (TAYLOR et al.; 2009).

Os polímeros são 100 % recicláveis e quando descartados de maneira incorreta no meio ambiente, podem causar poluição e levar vários anos para serem decompostos nos aterros sanitários. A produção global de polímeros ainda é crescente, podendo chegar a 550 milhões de toneladas; a medida dos anos, o número de descarte também está crescendo. (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017; MARKETS et al., 2014).

O Brasil é um dos países que mais gera polímeros, ocupando o 4º lugar no maior gerador deste resíduo no mundo. A produção destes compostos em 2016, por exemplo, foi de 11,3 milhões de toneladas, deste total, apenas 1,28 % foram encaminhados para reciclagem, um dos menores índices do mundo e abaixo da média global, que é de 9 % (KAZA et al., 2018, LIUKKO et al.; 2007).

A madeira convencional com passar do tempo tem o seu desgaste e o seu processo vegetativo leva anos para se ter o produto final de qualidade. O compósito polimérico em relação a madeira convencional e bastante resistente aos organismos xilófagos, alta impermeabilidade podendo ser empregado: pisos, decks, brises, escadas, esquadrias, píeres, cercas, entre outros. (COLETTI et al., 2021; CHAUDEMANCHE et al., 2018).

Este assunto já foi explorado por diversos pesquisadores na produção de compósitos poliméricos com fibras ou partículas: fibra de bambu (GOMES et al., 2021) e casca de amêndoa de cacau (VELOSO et al., 2021).

4-CONCLUSÃO

O reforço de compósitos pode ser utilizado variados materiais lignocelulósicos oriundos da floresta amazônica, por isso tem a finalidade de estar utilizando esses recursos na produção de materiais. Uma das alternativas e a utilização de partículas do pecíolo de jupati “*in natura*” e assim estar fazendo a avaliação em diferentes matrizes.

O painel aglomerado, houve aumento da razão de compactação influenciando no aumento da higroscopicidade, e também na redução da resistência. Considerando as variáveis analisadas, a inclusão de 100 % de pecíolo jupati em substituição à madeira de pinus tiveram grandes variações nas propriedades físicas e mecânicas em relação ao painel aglomerado de pinus.

O compósito de gesso, os reforços adicionados resultaram em um produto final mais leve e também apresentando bons comportamentos térmicos e acústicos. Para as propriedades mecânicas, houve diminuição de valores de modo que, para atendimento normativo.

O compósito polimérico, a adição de resíduo na matriz de polietileno de baixa densidade reciclado resultou um produto de maior densidade isto está relacionado com a razão de compactação. Houve pequeno aumento da umidade e absorção de água. Constatou-se também diminuição da resistência à tração e do alongamento indicando maior rigidez do material. Em relação ao comportamento ao fogo maiores porcentagens de pecíolos foram mais inflamáveis.

Por isso esta pesquisa teve a finalidade de estar avaliando às propriedades do pecíolo de jupati bastante abundante nas florestas tropicais. Gerando a preservação da fauna, flora e desenvolvendo materiais com maior desempenho em diversas matrizes, assim podendo ser aplicado em diversas áreas da sociedade.

5-REFERÊNCIAS

AYRILMIS, Nadir; KWON, Jin Heon; HAN, Tae Hyung. Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. **International Journal Of Adhesion And Adhesives**, [S.L.], v. 38, p. 79-83, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2012.04.008>.

BHASKAR, K.; JAYABALAKRISHNAN, D.; KUMAR, M. Vinoth; SENDILVELAN, S.; PRABHAHAR, M. Analysis on mechanical properties of wood plastic composite. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 45, p. 5886-5891, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.570>.

BRAIEK, Aymen; KARKRI, Mustapha; ADILI, Ali; IBOS, Laurent; NASRALLAH, Sassi Ben. Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 140, p. 268-279, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.001>.

CHAUDEMANCHE, Samuel; PERROT, Arnaud; PIMBERT, Sylvie; LECOMPTE, Thibaut; FAURE, Florent. Properties of an industrial extruded HDPE-WPC: the effect of the size distribution of wood flour particles. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 162, p. 543-552, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.061>.

COLETTI, F.; ROMANI, M.; CERES, G.; ZAMMIT, U.; GUIDI, M. Cestelli. Evaluation of microscopy techniques and ATR-FTIR spectroscopy on textile fibers from the Vesuvian area: a pilot study on degradation processes that prevent the characterization of bast fibers. **Journal Of Archaeological Science: Reports**, [S.L.], v. 36, p. 102794, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.102794>.

CONCEIÇÃO, Leyvison Rafael V. Da; COSTA, Carlos E. F. Da; FILHO, Geraldo N. Da Rocha; ZAMIAN, José R. **Obtaining and characterization of biodiesel from jupati (Raphia taedigera Mart.) oil. Fuel**, 2011. DOI: 10.1016/J.FUEL.2011.04.019.

CORDEIRO, J.; NEVES, M. **Apresentação da Pöyry: Impactos da Covid-19 na Indústria de Papel & Celulose. 2020**. Disponível em: <https://vimeo.com/424168072>. Acesso em: 10 out 2021.

DARGIE, G. C.; LEWIS, S. L.; LAWSON, I. T.; MITCHARD, E. T. A.; PAGE, S. E.; BOCKO, Y. E.; IFO, S. A. **Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex.** *Nature*. 2017. DOI: 10.1038/nature21048.

De Novais Miranda, E.H., Gomes, D.A.C., Resende, G.M.C.S., Guimarães, T.C., Mendes, L.M., Júnior, J.B.G., 2022. Evaluation of the influence of the addition of bean residue in gypsum matrices. **Clean Technol. Environ. Policy** 1, 1–11. <https://doi.org/10.1007/S10098-022-02389-9/FIGURES/8>

FAO – **Food And Agriculture Organization Of The United Nations. FAOSTAT.** 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GF>.

FARIA, Douglas Lamounier; GUIMARÃES, Ingrid Luz; SOUSA, Thais Brito; PROTÁSIO, Thiago de Paula; MENDES, Lourival Marin; GUIMARÃES JÚNIOR, José Benedito. Technological properties of medium density particleboard produced with soybean pod husk and Eucalyptus wood. **Scientia Forestalis**, [S.L.], v. 48, n. 126, p. 1-14, 30 jun. 2020. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF). <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v48n126.19>.

FURTINI, Ana Carolina Corrêa; SANTOS, Carolina Aparecida dos; GARCIA, Hudson Venâncio Silva; BRITO, Flávia Maria Silva; SANTOS, Thalita Paula dos; MENDES, Lourival Marin; GUIMARÃES JÚNIOR, José Benedito. Performance of cross laminated timber panels made of Pinus oocarpa and Coffea arabica waste. **Coffee Science**, [S.L.], v. 16, p. 1-12, 2021. Coffee Science. <http://dx.doi.org/10.25186/v16i.1854>.

GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, [S.L.], v. 3, n. 7, p. 01-06, 7 jul. 2017. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1700782>.

GOMES, Diogo Antonio Correa; MIRANDA, Eduardo Hélio de Novais; RESENDE, Fernanda Carolina; VILLARRUEL, Denisse Concepción Vega; MENDES, Lourival Marin; GUIMARÃES JÚNIOR, José Benedito. Analysis of the influence of wheat residues on gypsum composites. **Innovative Infrastructure Solutions**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-10, 24 nov. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s41062-022-01007-3>.

Gomes, D.A.C., Hélio Novais Miranda, E., Carolina Corrêa Furtini, A., Aparecida dos Santos, C., Duarte Resende, M., Concepción Vega Villarruel, D., Benedito Guimarães Júnior, J., 2021. Viabilidade De Compósitos Poliméricos De Polipropileno Reforçados Com Fibra De Bambu. **Rev. Bras. Eng. Biosistemas** 15, 511–522. <https://doi.org/10.18011/bioeng2021v15n4p511-522>

GUIMARÃES, I.L.; VELOSO, M.C.R.A.; LISBOA, F.J.N.; MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; FARRAPO, C.L.; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.. Aproveitamento do casquilho de soja para a produção de painéis aglomerados convencionais de baixa densidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 1-6, 30 jun. 2019. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5643>.

GUIMARÃES JUNIOR, José Benedito; XAVIER, Michele Mantelli; SANTOS, Thamara Silva; PROTÁSIO, Thiago de Paula; MENDES, Rafael Farinassi; MENDES, Lourival Marin. Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.L.], v. 36, n. 88, p. 435, 11 jan. 2017. Embrapa Florestas. <http://dx.doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1036>.

HARTUNG, P. A nova ordem mundial. Comunicação, Imprensa e Notícias. **Indústria Brasileira de Árvores**. Disponível em: <https://www.iba.org/a-nova-ordem-mundial>. Acesso em: 09 mar. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES- IBÁ. **Relatório 2020**. São Paulo: IBÁ, 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE - **Produção da extração vegetal e da silvicultura** - PEVS. Disponível em: Acesso: 20 mar. 2022.

International Tropical Timber Organization - ITTO. **Tropical Timber Market Report**, 2020.

IWAKIRI, S; TRIANOSKI, R. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fundação de Pesquisa Florestais do Paraná, 2020. 2ª Ed. 254 p

JARDIM, N. R. **Mulheres entre enfeites e caminhos: cartografia de memórias em saberes e estéticas do cotidiano no Marajó das florestas**. Rose Tavares Jardim. Belém, PA: - 2013.

JAUHARI, Nitin; MISHRA, Raghvendra; THAKUR, Harischchandra. Natural Fibre Reinforced Composite Laminates – A Review. **Materials Today: Proceedings**, [S.L.], v. 2, n. 4-5, p. 2868-2877, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.304>.

KAZA, S. et al. **A comprehensive review on bast fiber retting process for optimal performance in fibers reinforced polymer composites**. Preprints, **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. 2019. Disponível em: <www.preprints.org>. Acesso em: 27 mar. 2022.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: U.s. for. Prod. Lab. General Technical Report, 1977.

KUQO, Aldi; MAI, Carsten. Mechanical properties of lightweight gypsum composites comprised of seagrass *Posidonia oceanica* and pine (*Pinus sylvestris*) wood fibers. **Construction and Building Materials**, 2021. DOI: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122714.

LIUKKO, T; SALILA, T; PLATT, S; KÄRKI, T. Wood Plastic Composites in Europe: an Introduction to Wood Plastic Composite Markets and Products. **Baltic Forestry**, 2007.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MARKETS AND MARKETS (Ed.). Wood Plastic Composite Market by Type (Polyethylene, Polyvinylchloride, Propylene, and Others), Applications (Building & Construction Products,

Automotive Components, Industrial & Consumer goods, and Others) and Region: Trends & Forecasts (2014 - 2019). USA, **Markets and Markets**, 2014.

MENDES, R. F. et al. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. *Ciência Florestal*, v. 22, n. 1, 30 mar. 2012.

NARCISO, C. R. P.; REIS, A. H. S.; MENDES, J. F.; NOGUEIRA, N. D.; MENDES, R. F.. Potential for the Use of Coconut Husk in the Production of Medium Density Particleboard. **Waste And Biomass Valorization**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 1647-1658, 26 maio 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-020-01099-x>.

NASCIMENTO, Rodrigo Geroni Mendes. **Modelagem e simulação do crescimento e produção de floresta tropical manejada na Amazônia oriental**. 2016. 174 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2016.

OLIVEIRA, Marília Pereira de. **Materiais compósitos à base de gesso contendo eva (etileno acetato de vinila) e vermiculita: otimização de misturas e propriedades termomecânicas**. 2009. 216 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

PAULA, W. F. P. de; SILVA, L. P. da. PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO PÓS-INDUSTRIAL DE MADEIRA PLÁSTICA REFORÇADOS COM RESÍDUOS DE PÓ DE MADEIRA. **Revista Produção e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 114-124, fev. 2016.

PINHEIRO, S. M. de M. **Gesso reciclado: avaliação das propriedades para uso em componentes**. 2011. [s.n]. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. 2011.

PINTO, N. A. et al. Avaliação de matriz de gesso com incorporação de borracha de pneus para utilização na construção civil. **Revista Tecnológica**, v. 25, n. 1, p. 103–117, 2016.

RIBEIRO, Débora Pereira; VILELA, Alan Pereira; SILVA, Danillo Wisky; NAPOLI, Alfredo; MENDES, Rafael Farinassi. Effect of Heat Treatment on the Properties of Sugarcane Bagasse Medium Density Particleboard (MDP) Panels. **Waste And Biomass Valorization**, [S.L.], v. 11, n. 11, p. 6429-6441, 23 nov. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-019-00882-9>.

SANTOS, A. P. B; et al. **Reaproveitamento dos resíduos do Jupati (Raphia Taedigera) e sua aplicabilidade na produção de mobiliário**. Recife: Simpósio Design Sustentável, 2019.

SCATOLINO, Mário Vanoli; COSTA, Andrey de Oliveira; GUIMARÃES JÚNIOR, José Benedito; PROTÁSIO, Thiago de Paula; MENDES, Rafael Farinassi; MENDES, Lourival Marin. Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: physical and mechanical properties. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 139-146, abr. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542017412038616>.

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.** 2016. [s.n]. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SILVA, João Vítor Felipe; FERREIRA, Bruno Santos; CAMPOS, Cristiane Inácio de; CHRISTOFORO, André Luis; LAHR, Francisco Antonio Rocco. Characterization of particleboards produced with Pinus spp. waste. **Scientia Forestalis**, [S.L.], v. 44, n. 111, p. 01-06, 3 out. 2016. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF). <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.08>.

SILVA, Luciana; CAMÕES, Aires; VASCONCELOS, Graça. **Material compósito à base de gesso reforçado com fibras: caracterização mecânica.** *Azurém*, v. 49, p. 1-10. 2014.

SNIF. Serviço Florestal Brasileiro. **Os biomas e suas florestas – Amazônia – Tabelas e gráfica.** Disponível em: Acesso: 16 mar.2022.

SOARES, Suzane Sarno; GUIMARÃES JÚNIOR, José Benedito; MENDES, Lourival Marin; MENDES, Rafael Farinass; PROTÁSIO, Thiago de Paula; LISBOA, Fernando Noraga. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 8, n. 2, p. 1-10. 2017. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v8n2p64-73.

SOPHIA. M. et al. Gypsum as a Construction Material- A Review of Recent Developments. *International Journal for Innovative. Research in Science & Technology*. 2016. ISSN: 2349-6010

M, Sophia; N, Sakthieswaran. Gypsum as a Construction Material- A Review of Recent Developments. **International Journal For Innovative Research In Science & Technology** [s. l], v. 2, n. 12, p. 1-9, maio 2016.

STAUFFER, Fred W.; OUATTARA, Doudjo N.; ROGUET, Didier; GIAU, Simona da; MICHON, Loïc; BAKAYOKO, Adama; EKPE, Patrick. An update to the African palms (Arecaceae) floristic and taxonomic knowledge, with emphasis on the West African region. **Webbia**, [S.L.], v. 72, n. 1, p. 17-30, 2 jan. 2017. Firenze University Press. <http://dx.doi.org/10.1080/00837792.2017.1313381>.

TAYLOR, A; YADAMA, V; ENGLUND, K. R; HARPER, D; KIM, J. **Wood plastic composites-a Primer.** Ioa University of Tennessee, Knoxville, TN, 2009.

VALKENBURG, J. L. C.; SUNDERLAND, T. C. H.; COUVREUR, T. L. P. Uma revisão do gênero *Sclerosperma* (Arecaceae) em **JSTOR. KEW BULLETIN**, 2008. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20443410>.

VELOSO, M.C.R.A.; LOPES, F.M.; FURTINI, A.C.C.; SILVA, M.G.; MENDES, L.M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.. Low-density particleboard properties produced with jupati particles and eucalyptus wood. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal**

Of Agricultural Sciences, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 1-8, 10 set. 2020. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v15i4a8414>.

VELOSO, Maria Cecília Ramos de Araújo; SCATOLINO, Mário Vanoli; GONÇALVES, Maria Margarida Boavida Pontes; VALLE, Mara Lúcia Agostini; PROTÁSIO, Thiago de Paula; MENDES, Lourival Marin; GUIMARÃES JUNIOR, José Benedito. Sustainable valorization of recycled low-density polyethylene and cocoa biomass for composite production. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 28, n. 25, p. 32810-32822, 25 fev. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-13061-y>.

VILELA, Alan Pereira. **UTILIZAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS MDP E CIMENTOMADEIRA**. 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia de Biomateriais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

2ª PARTE- ARTIGOS

ARTIGO 1 - PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LOW DENSITY PARTICLEBOARDS OF AMAZON JUPATI PALM AND PINWOOD

(Submetido em junho 2022 no periódico Industrial Crops and Products – Versão preliminar)

Industrial Crops & Products

Physical and mechanical properties of LOW-density particleboards of Amazon jupati palm and pinewood --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	INDCRO-D-22-03164R3
Article Type:	Research Paper
Section/Category:	Bio-based Materials from Crops
Keywords:	Adhesion; Low-density panels; Microstructure; Urea-formaldehyde.
Corresponding Author:	Diogo Antonio Correa Gomes, Me Federal University of Lavras Lavras, Minas Gerais BRAZIL
First Author:	Diogo Antonio Correa Gomes, Me
Order of Authors:	Diogo Antonio Correa Gomes, Me Eduardo Hélio Novais Miranda Lina Bufalino Marcela Gomes da Silva Gracialda Costa Ferreira Lourival Marin Mendes José Benedito Guimarães Júnior
Abstract:	<p>The low density of the Amazon jupati palm (<i>Raphia taedigera</i>) motivates the production of low-density particleboards (LDP) with attractive insulating properties. If the products show unsuitable performance, jupati-wood-blended particleboards are an alternative. Therefore, this work aimed to develop low-density particleboards with various levels of jupati particles (0%, 25%, 50%, 75%, and 100%) combined with <i>Pinus oocarpa</i> (pinewood) particles. A full characterization of jupati waste was performed with electron dispersion spectroscopy (EDS), apparent density, moisture content, and chemical composition. Particleboards were produced with urea-formaldehyde at 10% and a target density of 600 kg/m³. Physical and mechanical tests provided their performance, and scanning electron microscopy (SEM) revealed their microstructure. Jupati characterization revealed outstanding low density (120 kg/m³) and suitable content of extractives (6.90%), i.e., below 10% for producing LDP. Its drawbacks were silicon occurrence (1.02%) and high contents of ashes (13.90%). The LDP's water absorption and thickness swelling decreased with increased levels of jupati. Mechanical properties of all LDP containing jupati reduced compared with 100%-pinewood particleboards but met the standardized requirements. Thermal conductivities were similar among all particleboards, but 100%-jupati particleboards showed superior sound isolation. Alone or combined with pinewood, jupati can keep or improve the LDP's thermal and acoustic isolations while keeping mechanical strength suitable. Future works should focus on overcoming the inability of jupati particleboards to stand in highly humid environments by adjusting production.</p>

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LOW-DENSITY PARTICLEBOARDS OF AMAZON JUPATI PALM AND PINEWOOD

Diogo Antonio Correa Gomes^{a*}, Eduardo Hélio Novais Miranda^a, Lina Bufalino^b, Marcela Gomes da Silva^b, Gracialda Costa Ferreira^b, Lourival Marin Mendes^a, José Benedito Guimarães Júnior^a

^a Forest Science Department, Federal University of Lavras, Brazil.

^b Institute of Agricultural Sciences, Federal Rural University of the Amazon, Brazil.

*diogogomes548@gmail.com

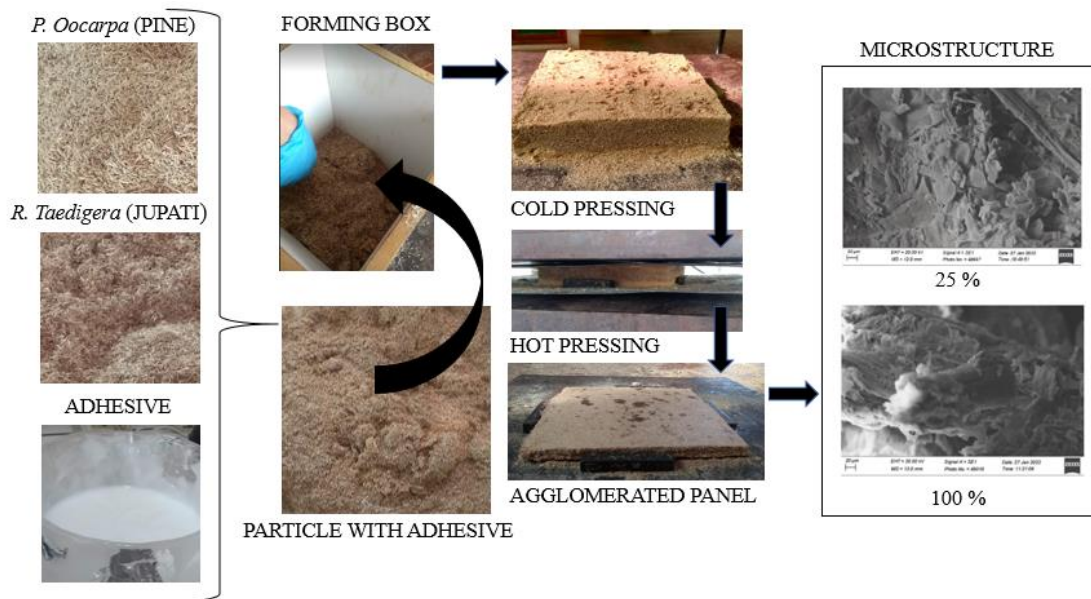
ABSTRACT - The low density of the Amazon jupati palm (*Raphia taedigera*) motivates the production of low-density particleboards (LDP) with attractive insulating properties. If the products show unsuitable performance, jupati-wood-blended particleboards are an alternative. Therefore, this work aimed to develop low-density particleboards with various levels of jupati particles (0%, 25%, 50%, 75%, and 100%) combined with *Pinus oocarpa* (pinewood) particles. A full characterization of jupati waste was performed with electron dispersion spectroscopy (EDS), apparent density, moisture content, and chemical composition. Particleboards were produced with urea-formaldehyde at 10% and a target density of 600 kg/m³. Physical and mechanical tests provided their performance, and scanning electron microscopy (SEM) revealed their microstructure. Jupati characterization revealed outstanding low density (120 kg/m³) and suitable content of extractives (6.90%), i.e., below 10% for producing LDP. Its drawbacks were silicon occurrence (1.02%) and high contents of ashes (13.90%). Water absorption and LDP thickness swelling increased with increasing levels of jupati. The mechanical properties of all LDP containing jupati were reduced compared to 100% pine wood particleboard, but met standardized requirements. Thermal conductivities were similar among all particleboards, but 100%-jupati particleboards showed superior sound isolation. Alone or combined with pinewood, jupati can keep or improve the LDP's thermal and acoustic isolations while keeping mechanical strength suitable. Future works should focus on overcoming the inability of jupati particleboards to stand in highly humid environments by adjusting production.

Keywords: Adhesion, Low-density panels, Microstructure, Urea-formaldehyde.

HIGHLIGHTS

Pinewood and jupati waste were combined to produce low-density particleboards
 Jupati waste has outstanding low-density required for low-density particleboards
 Adding jupati waste in the particleboards kept mechanical strength feasible
 Adding jupati waste improved sound insulation of low-density particleboards

GRAPHIC SUMMARY



INTRODUCTION

Pinus oocarpa and *Eucalyptus* spp. are the main wood species to supply the industry of reconstituted panels, which consumes 40% of such available raw materials. The furniture industry and others are the target destinations of wood panels. Given the high consumption of these and other woody resources, scientists and industry claim that lignocellulosic wastes are potential substitutes (Guimarães et al., 2019; Soares et al., 2017; Leite et al., 2014).

Brazil exports many wood panels, such as particleboards, plywood, and medium-density fiberboard (MDF). Moreover, agricultural commodities play a substantial role in Brazil's national economy, raising great interest in the potential of the derived wastes. Some of these agroforestry resources may totally or partially substitute the wood in the particleboard sector. Previous works investigated the potential of sorghum bagasse (Guimarães Júnior et al., 2016), coconut husk (Narciso et al., 2021), sugarcane bagasse (Soares et al., 2017), coffee endocarp (Scatolino et al., 2017), rice husk (Ayrilmis et al., 2012), jupati petiole (Veloso et al., 2020) to produce particleboards.

The jupati (*Raphia taedigera*) stands out among other bioresources because it is a palm tree that grows slowly and has several trunks that can reach 3 m in height. It is a species native to Asia, China, and northern Brasil that widely occurs in tropical forests. Interior decoration and crafts produced from the leaves, fibers, seeds, and bark of jupati are typical in Brazilian culture. Besides, this species is essential in the wetland ecosystem (Helmstetter et al., 2020; Veloso et al., 2020). According to Veloso et al. (2020), jupati may replace up to 15% of the wood in particleboards.

Despite the many environmental, economic, and social advantages of avoiding the wastage of valuable biomass for producing versatile particleboards, whenever non-wood biomass replaces wood, the final product's performance is unpredictable. For instance, sugarcane bagasse particleboards' physical and mechanical properties were comparable to those of eucalyptus and pinus (Bekhta et al., 2021). However, another study reported that, regarding mechanical strength, wood particleboards overcame core bark, rattan bark, and corn stalk particleboards (Astari et al., 2019). Solutions to optimize the application of alternative lignocellulosic materials in particleboards lay on fully understanding how their unique traits affect the product's final quality. Blending the target raw material with woods suitable for this purpose is an additional possibility.

Despite wide variability, the usually low natural density of agricultural wastes compared to wood motivates the production of low-density particleboards with attractive insulating and thermal performance because of a proper compaction ratio, e.g., a higher volume of low-density particles is necessary to full fill a fixed volume. The presence of voids in low-density particleboards is related to the low density of the particles (Santos et al., 2021).

Therefore, this research aimed to characterize jupati petiole and to investigate the physical and mechanical properties of low-density particleboards produced with different replacement levels of *Pinus oocarpa* wood by jupati petiole (25, 50, 75, and 100%).

MATERIAL AND METHODS

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF THE PINE WOOD AND JUPATI WASTE

Wastes from the petiole of *Raphia taedigera* (jupati) were collected in Abaetetuba-Pará-Brasil. The 25 years-old wood of *Pinus oocarpa* (pine) was obtained from a trial crop at the Federal University of Lavras (UFLA). The pine logs were immersed in a tank with water at

60°C for 24 h to avoid possible attacks by xylophagous. Afterward, the logs were veneered, generating veneers with nominal thicknesses of 2 mm. The pine veneers and the jupati waste were dried at room temperature until they reached a moisture content of 8%.

The raw materials were milled in a high-speed hammer mill, and the particles retained between the 40 and 60-mesh sieves were used to produce the particleboards. After sieving, the particles of both materials were dried in a laboratory oven at a temperature between 50-75°C up to a particle moisture content between 3-4%.

CHARACTERIZATION OF THE RAW MATERIALS

The raw lignocellulosic materials were characterized through the following tests:

- Basic density (ρ) – adapted from NBR 11941 standard (ABNT, 2003);
- Total extractives - NBR 14853 (ABNT, 2010);
- Acid-insoluble lignin - NBR 7989 (ABNT, 2010);
- Ash content - NBR 13999 (ABNT, 2017).

With the data from the characterization of extractives, lignin, and ash content, the holocellulose (H) content, referring to the sum of the structural carbohydrates of biomass, cellulose, and hemicelluloses, was calculated according to Equation 1.

$$H (\%) = 100 (\%) - \text{total extractives} (\%) - \text{lignin content} (\%) - \text{ash content} (\%) \quad (1)$$

The electron dispersion spectroscopy (EDS) assay was also performed in an SEM Zeiss EVO 40 device (Oberkochen, Baden-Württemberg, Germany) belonging to the UFLA Department of Plant Pathology. Therefore, particles of jupati waste were subjected to a carbon bath. Secondary electrons and backscattering detectors were used, and the microscope was operated under an accelerating voltage of 15 kV and probe current of 2 nA.

PARTICLEBOARD PRODUCTION

The particleboards were formulated to have a nominal density of 600 kg/m³. The proportion of adhesive applied was 10% (adhesive's solid mass based on the oven-dried particle mass) of the particleboards. The urea-formaldehyde adhesive was characterized by a solid content of 63.50%, viscosity of 1810 cP, pH of 6.86, and gelatinization time of 53 s.

The components were mixed in a rotatory blender until complete homogenization, and the urea-formaldehyde adhesive was added by pressure spraying. Different blend formulations were tested regarding the proportions of jupati and pine wood (Table 1). Afterward, a mattress-forming box with dimensions of 30cm x 30cm x 1.50 cm was filled with the wood-adhesive mixes. The mixtures were pre-pressed in a hydraulic press at a pressure of 0.4 MPa for 8 min at room temperature forming mattresses. Subsequently, the mattresses were hot-pressed at 160°C and 4MPa for 10 min, according to Soares et al. (2017).

Table 1: Raw materials' proportions of the particleboards

Treatments	Pine (%)	Jupati (%)
1	100	0
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	0	100

The pressed panels were square-cut according to normative dimensions; these samples were kept in a controlled environment (20± 2°C and 65± 5% RH) until the physical and mechanical tests were carried out following NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

PHYSICAL PROPERTIES OF PARTICLEBOARDS

The specimens were evaluated regarding their following physical properties: 24-h water absorption (WA) - ASTM D1037 (ASTM, 2012); Thickness swelling (TS) after 24 h - ASTM D1037 (ASTM, 2012); Moisture content (M) - NBR 14810-2 (ABNT, 2018); Apparent density (ρd) - NBR 14810-2 (ABNT, 2018); Thermal conductivity (K) - adaptation to the JIS 1412-2 standard (JSA, 2016); Acoustic insulation – adapted from ISO 10534-2 (ISO,1998); and Compression ratio (CR) - calculated by Equation 2.

$$RC = \frac{\rho d}{\rho f * (fp\%) + \rho p * (pp\%)} \quad (2)$$

Where:

- ρd is the apparent density of the particleboards (g/cm³);
- ρf is the apparent density of jupati wastes (g/cm³);

- $fp\%$ is the content of jupati wastes (%);
- ρ_p is the apparent density of pine wood (g/cm^3);
- $pp\%$ is the pine wood content (%).

MECHANICAL PROPERTIES OF THE PARTICLEBOARDS

In addition to the physical characterization, the particleboards were subjected to the following mechanical tests:

- Static bending – to obtain the modulus of elasticity (MOE) and rupture (MOR) – ANSI A208 (ANSI, 1999);
- Perpendicular tensile strength perpendicular (PTS) to the plane of the board – ANSI A208 (ANSI, 1999).

MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF THE PARTICLEBOARDS

The scanning electron microscopy (SEM) test was also performed on the particleboards to verify the interaction between adhesive and particle in the specimens ruptured in static bending using an SEM Zeiss EVO 40 device (Oberkochen, Baden-Württemberg, Germany). The samples were previously gold-plated. Secondary electrons and backscattering detectors were used in the tests, and the microscope was operated under an accelerating voltage of 15 kV and probe current of 2 nA. No tilt was used, and images were obtained at different magnifications.

EXPERIMENTAL DESIGN AND STATISTICAL ANALYSES

The experimental design was completely randomized with five treatments (proportions of wood jupati) and three replications (particleboards produced by formulation). Data was first evaluated by variance analysis. A regression was fitted for the particleboards' properties significantly affected by the different levels of jupati wastes. Tukey's test ($\alpha = 0.05$) was applied to test significant differences between the traits of the raw materials.

RESULTS AND DISCUSSION

CHARACTERIZATION OF LIGNOCELLULOSIC MATERIALS

Jupati and pinewood significantly differed in basic density and contents of ashes and holocellulose. On the other hand, the contents of extractives and lignin were statistically equal (Table 2).

Table 2

Basic density and chemical composition of the lignocellulosic materials.

Material	Basic density (kg/m ³)	Extractives (%)	Lignin (%)	Ashes (%)	Holocellulose (%)
Pine	480 ^{(50)*} a	6.18 ^(0.72) a	29.28 ^(0.14) a	1.25 ^(0.03) b	63.29 ^(0.81) a
Jupati	120 ⁽¹⁰⁾ b	6.90 ^(1.01) a	33.52 ^(11.65) a	13.90 ^(1.27) a	45.68 ^(13.93) b

*Standard deviation of means.

**Means followed by the same letters in the columns do not differ according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$).

Veloso et al. (2020) found a higher density (500 kg/m³) for the petiole of jupati. The lower value found for the raw particles in this work is possibly related to the plant life cycle, age, and harvest time. Jupati is desirable for manufacturing particleboards as a low-density material because the pre-determined particleboard density is achieved with more particles for a given volume, increasing its compaction (Iwakiri and Trianoski, 2020; Veloso et al., 2020; Protássio et al., 2012). However, the possible drawback of such a low density is the requirement of a higher amount of adhesive to cover a higher surface area of particles. Therefore, jupati is specifically promising for low-density particleboards produced with a lower mass of particles instead of medium or density particleboards (MDP and HDP).

Although statistically equal, both feedstocks had advantageous extractive contents below 10%. Above this limit, extractives usually cause problems in particleboards' production and quality by increasing the adhesive consumption, decreasing strength, increasing water absorption, and favoring the occurrence of bubbles during hot pressing (Iwakiri and Trianoski, 2020). The content of total extractives of jupati found by Veloso et al. (2020) was 7.46%, which is close to that found herein. Compared to other lignocellulosic wastes, jupati presented lower extractive values. For instance, Soares et al. (2017) found 19.59% of extractives for sugarcane bagasse, and Martins et al. (2018) reported 26.72% for soybean pod waste.

The insoluble lignin content of pine was consistent with that obtained by Furtini et al. (2021) of 29.20%. Meanwhile, jupati's content was consistent with that found by Veloso et al. (2020) of 29.28%. However, other wastes, such as coffee parchment (28.32%, Scatolino et al., 2017), and bagasse sugarcane (15.72%, Soares et al., 2017), showed higher levels of this component.

Higher levels of lignin are desirable for the production of reconstituted wood panels. It leads to better adhesion of lignocellulosic constituents and helps to obtain better mechanical properties of particleboards (Bufalino et al., 2012; Khedari et al., 2004).

The ash content of jupati was 13.90%, far higher than the 3.17% found by Veloso et al. (2020) for the same waste. Besides, other agriculture wastes also showed comparable lower ash contents, including bamboo fiber (0.22%, Gomes et al., 2021), coffee parchment (0.57%, Scatolino et al., 2017), sugar cane bagasse (1.89%, Soares et al., 2017) and beans waste (16%, Miranda et al., 2022).

Lower values of this property are attractive for particleboard production because these components harm wood veneering by wearing the cutting knives. Pinewood particles also showed high ash proportion compared to other woods from literature, such as those of Andrade et al. (2019), who found 0.20%.

The amount of holocellulose (cellulose + hemicelluloses) was 63.29% for pinewood and 45.68% for jupati. Mendes et al. (2014) found a similar value of 66.50% for pinewood. Veloso et al. (2020) reported a holocellulose level of 60.11% for jupati, above the observed herein.

Cellulose is a structural component of the wood cell wall and occurs as semi-crystalline microfibrils; hence, a higher content of this component can benefit the mechanical properties of particleboards (Baharoğlu et al., 2013). However, both cellulose and hemicelluloses increase wood hygroscopicity; that is, free hydroxyl groups available in carbohydrate fractions that can adhere to water (Iwakiri and Trianoski, 2020), which may negatively affect the physical properties of particleboards.

The Electron Scatter Spectroscopy (EDS) revealed the occurrence levels of many elements in jupati waste (Table 3).

Table 3

The elemental chemical constitution of the jupati petiole revealed by EDS

Element (%)							
O	Al	F	Si	K	Ca	Cl	S
20.52	9.58	1.69	1.02	0.76	0.53	0.36	0.17

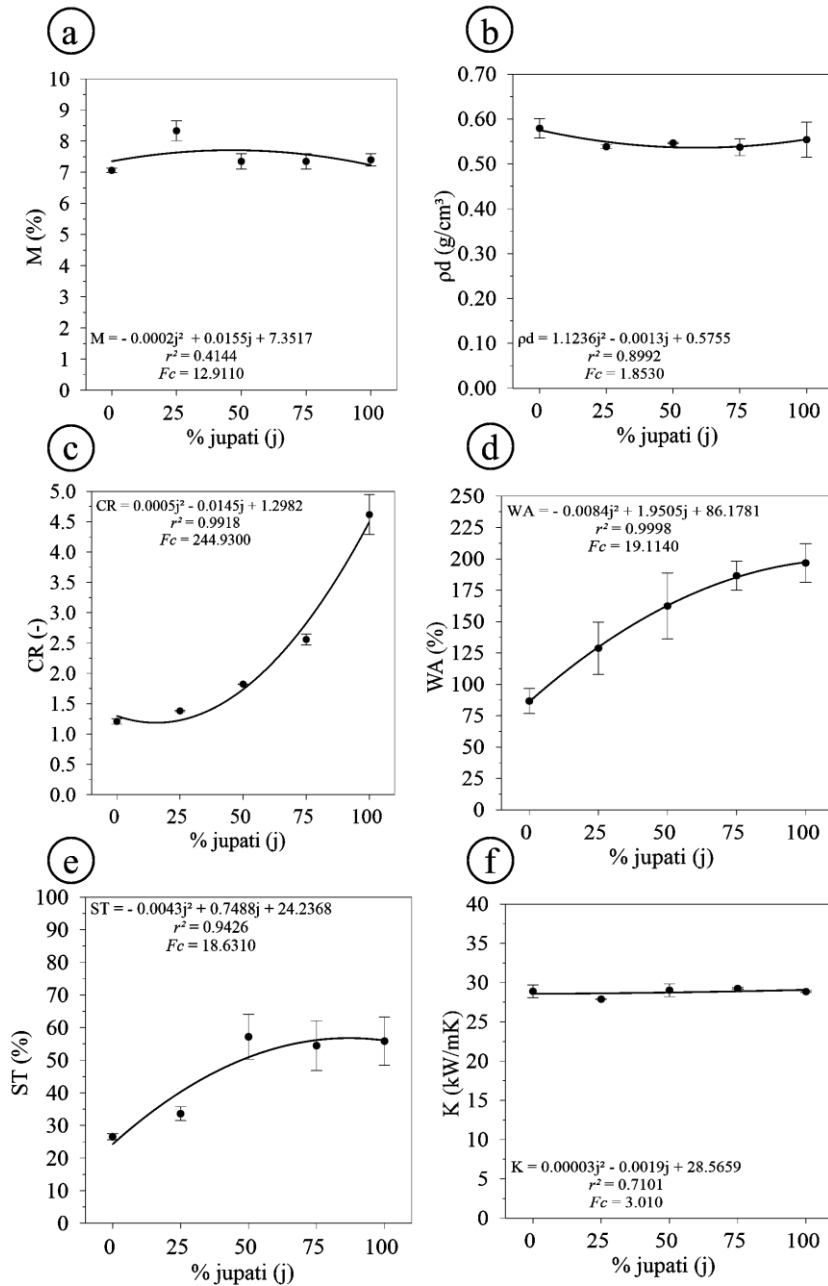
Silicon occurs in certain plants' stem and leaf tissues in large amounts and small amounts in the grains. In 99.00% of the plants, it occurs as polymerized silicon acid, a complex formula to solubilize (Manegale et al., 2015). Jupati presented a small percentage of silicon compared to piassava fiber, which has a silicon content ranging from 6.60% to 9.60% (Rebelo, 2016). The growth environment of the jupati palm is the probable cause of such a small amount of silicon.

Potassium, which occurred at a 0.76% level, inhibits fungi and insects on wood particleboards. It reacts with the urea-formaldehyde adhesive accumulating phenolic composites (Silveira, 2000).

The jupati petiole also presented a large amount of aluminum and oxygen, which increased the interfacial bond and thus contributed to the composite's thermal stability.

PHYSICAL PROPERTIES OF THE PARTICLEBOARDS

Particleboard composition did not affect significantly apparent density (p-value = 0.1955), and thermal conductivity (p-value = 0.0718) of the particleboards. On the other hand, the moisture content (p-value = 0.0006), compression ratio (p-value = 0.000), water absorption (p-value = 0.0001), and thickness swelling (p-value = 0.0001) consistently increased with the partial or total replacement of pinewood by jupati (Fig. 1).



* Significant Regression Analysis at 5% Significance.

Figure 1. Physical properties of the jupati and pinewood particleboards: (a) moisture content (M), (b) apparent density (ρ_d), (c) compression ratio (CR), (d) water absorption (WA), (e) thickness swelling (TS) and thermal conductivity (K).

A significant moisture content difference among particleboards was not desirable since they were acclimatized before testing under the same air temperature and relative humidity conditions. However, a low moisture content range of $7.1 \pm 0.1\%$ (100% pinewood) to $8.3 \pm 0.3\%$ (25%-jupati) was found (Fig. 1a). All values were within the 5-11% range required by the NBR 14810-2 standard (ABNT, 2002). Longo et al. (2015) reported moisture contents of

angelim and cambará wood particleboards of 7.6% and 8.8%, both similar to the particleboards of this work.

The apparent density did not statistically differ among particleboards and ranged from $540 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ (25% and 75%-jupati particleboards) to $580 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ (100%-jupati), with an average of 550 kg/m^3 (Fig. 1b). Such similarity was expected because all particleboards were produced with the same target density. According to CS 236-66 (CS, 1968) and ANSI A208.1-99 (ANSI, 1999) standards, all particleboards were classified as low density since values were below 600 kg/m^3 and 650 kg/m^3 , respectively. (Figure 1b).

The compaction ratio increased from 1.21 (100%-pinewood) to 4.62 (100%-jupati), meaning 3.8 times increase by completely replacing pine wood with jupati in the particleboards (Fig. 1c). Other authors have observed this trend in particleboards (Bekhta et al., 2021; Veloso et al., 2020; Scatolino et al., 2017; Guimarães Júnior et al., 2016). Compared with pinewood, the lower density of some agricultural residues increases the compaction ratio (Guimarães Júnior et al., 2016; Scatolino et al., 2017) since the density is pre-determined. According to Maloney (1993), the recommended compression ratio is between 1.30 and 1.60. The optimal replacement ratio for optimizing the compression ratio based on the fitted regression is between 18.20 and 27.58%.

The minimum water absorption of $87 \pm 9.9\%$ was found for 100%-pinewood particleboards. In comparison, the maximum of $196.7\% \pm 15.4$ was found for 100%-jupati particleboards (Fig. 1d). The water absorption of particleboards occurs through the cellulose hydroxyl sites (OH) of the lignocellulosic materials that raise the affinity with water (Guimarães Júnior et al., 2016). However, jupati had lower holocellulose content than pinewood; hence, the exceptionally low density of jupati particles supports they contain many voids within individual particles for uptaking free water and explains the increased water absorption with increasing jupati proportions. Moreover, a higher compaction ratio means more particles per volume within the boards, hence more lignocellulosic material for water adsorption.

Regarding water absorption, the pinewood particleboards showed similar values to Mendes et al. (2012). With the inclusion of jupati in higher percentages, the values were higher than those of Veloso et al. (2020), who also produced low-density particleboards substituting wood with jupati up to 15%. The normative requirements for particleboards do not specify targets for 24-h absorption properties (Guimarães et al., 2019).

Increasing the proportions of jupati also increased the swelling of the particle board thickness swelling from $26.5 \pm 0.9\%$ (100%-pinewood) to 55.8 ± 7.4 (100%-jupati). Nonetheless, the 50%-jupati particleboards exhibited the highest thickness swelling (Figure 1e).

This effect is related to its higher compaction ratio acquired during pressing, which is released more intensely when the particleboards are immersed in water (Guimarães et al., 2019). Veloso et al. (2020) also observed that the more significant the addition of waste, the greater the swelling in thickness. This trend is the main disadvantage of using agricultural by-products on a large scale in particleboards. In the work of Soares et al. (2017), however, sugarcane bagasse was added at levels of 10-30%, and all treatments met the standard. The CS 236-66 standard stipulates a maximum value of 35% for thickness swelling for low-density particleboard produced with urea-formaldehyde adhesive. Only the standard product of pine wood and 25% jupati met the standard.

There was no significant statistical variation in thermal conductivity among the samples of this study, and values ranged from 27.2 ± 0.04 kW/km (25%-jupati) to 29.25 ± 0.11 kW/km (75%-jupati), as observed in Fig. 1f. Still, the all-pinewood sample particleboards absorbed slightly more heat than those containing jupati. Aluminum, which was detected in jupati, possibly reduced the thermal conductivity. The values of this work were below those reported by Raim et al. (2021) because lighter materials show better thermal properties. The thermal conductivity of wood fiber is 42kW/(mK).

Concerning acoustic insulation (Figure 2a), all particleboards isolated the sound more than the reference. Moreover, sound intensities were lower by replacing pinewood with jupati petiole wastes. At the lowest frequency of 250 Hz, the sound intensities varied less, ranging from 78.50 dB (75%-jupati particleboards) to 77.03 dB (25%-jupati particleboards). For the remaining frequencies, 100%-pinewood particleboards had the highest sound intensities (500 Hz - 78.80 dB, 1000 Hz - 46.70 dB, and 2000 Hz - 78.23 dB). At 125 Hz, 25% and 50%-jupati particleboards had the lowest sound intensity (77.3 dB). At 500 Hz, 100%-jupati particleboards had the lowest sound intensity (76.03 dB). At 1000 Hz, 25%-jupati particleboards had the lowest sound intensity (43.93 dB), while at 2000 Hz, the 50%-jupati particleboards showed the lowest value (76.47 dB), as observed in Fig. 2a.

Despite average differences among particleboards, there was no significant interaction between the jupati proportion and frequency factors (p -value = 0.0000, Fig. 2b). Concerning isolated factors, a significant effect of the frequency on the average acoustic intensity was observed, oppositely from the jupati proportion (p -value = 1.0000, Figure 2c).

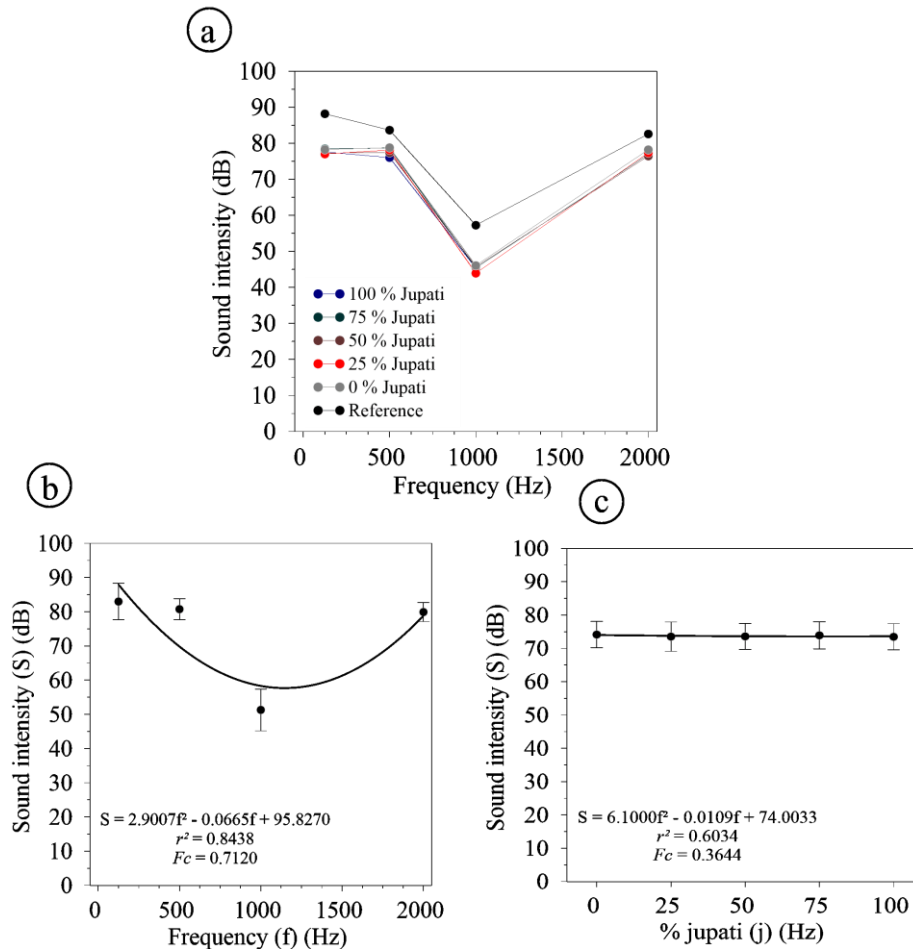
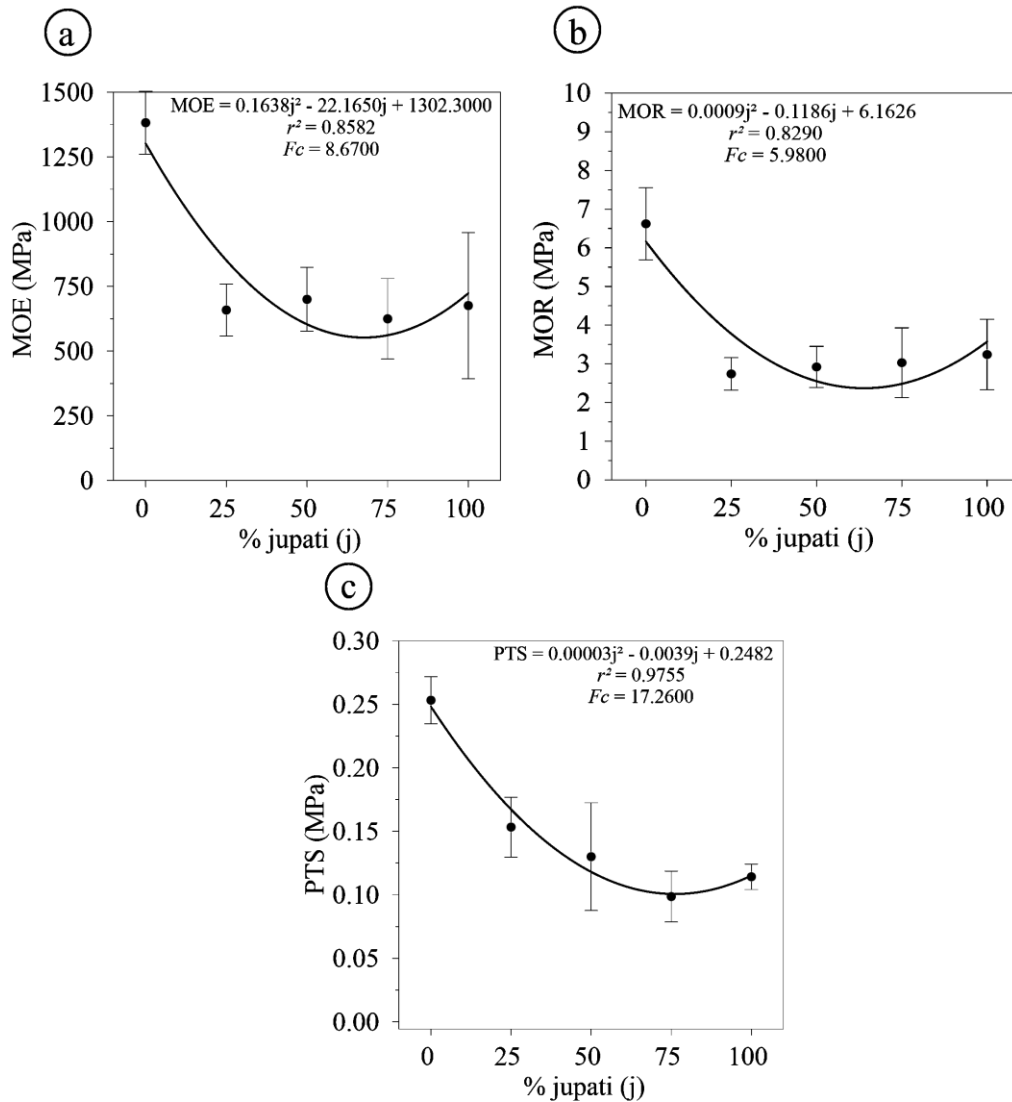


Figure 2. Sound intensity of the jupati and pinewood particleboards: (a) averages of all treatments, (b) averages for frequency factor, and (c) averages for jupati proportion factor.

According to the averages for each frequency, jupati contributed to greater acoustic insulation of the particleboards. Sound transmission represents the behavior of low-density particleboards. The materials must be well-filled with low-density material such as jupati, to present better behavior to sound activity (Santos et al., 2021).

MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICLEBOARDS

The MOE (p-value = 0.0053) and the MOR (p-value = 0.0083) in static bending, and the perpendicular tensile strength (p-value = 0.0019) data were significantly affected by the increasing addition of jupati wastes (Figure 3).



* Significant Regression Analysis at 5% Significance.

Figure 3. Mechanical strength of the jupati and pinewood LDP: Modulus of elasticity (MOE) (a), modulus of rupture (MOR) (b), and perpendicular tensile strength (PTS) (c) of the panels.

According to the A208 standard (ANSI, 1999), the modulus of rupture, modulus of elasticity, and perpendicular tensile strength of all treatments met the recommended minimum values: 3MPa (MOR), 550MPa (MOE), and 0.10 MPa (RTP).

Placing the minimum values required by the standard in the regression equation, e.g., $550 = 0.1638j^2 - 22.1650j + 1302.3$ for MOE, we obtain the maximum replacement proportions (j) of jupati petiole of $\approx 67\%$ (MOE), $\approx 95\%$ (MOR) and $\approx 38\%$ (PTS). The perpendicular

tensile strength found here was lower than that of particle boards from other agricultural residues, such as coffee endocarp (Scatolino et al., 2017) and jupati petiole (Veloso et al., 2020).

A general tendency for properties to decline as the waste levels increase is common in other literature, as observed in particleboards of sugarcane (19.59%, Soares et al., 2017) and soybean pod wastes (26.72%, Martins et al., 2018).

According to Guimarães Júnior et al. (2016), the decrease in the mechanical properties of conventional particleboards relates to ash and holocellulose and the low density of the waste that increases the compaction ratio too much, resulting in less adhesive per particle. This reduction is also related to the lower values of lignin and higher values of extractives found in the particles of this agricultural element (Iwakiri and Trianoski, 2020; Neutelings, 2011).

MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF THE PARTICLEBOARDS

Figure 4 presents scanning electron microscopy (SEM) images of 25%-jupati, and 100%-jupati particleboards ruptured in static bending.

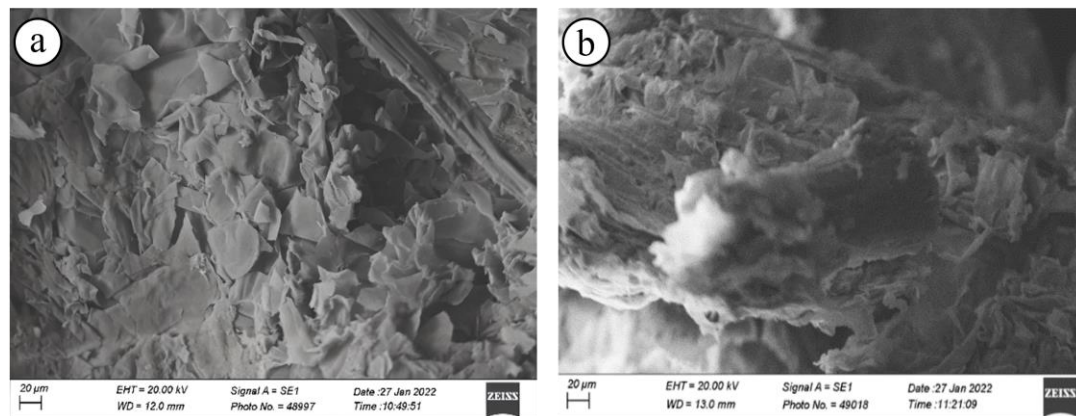


Figure 4. SEM of the samples containing 25.00% (a) and 100.00% of jupati(b).

Figure 3b showed that replacing pine wood with 100% jupati, a material of lower density increased voids and thus presented a smaller amount of adhesive per particle due to the higher volume of jupati particles. The tests with 100%-jupati particleboards did not present suitable thickness swelling and water absorption (Figures 1d and 1e) due to the voids and high ash levels in the jupati particles' chemical composition (Santos, 2021; Barros Filho et al., 2011). Jupati's high extractive and ash contents possibly harmed the mechanical strength of the particleboards.

Furthermore, the adhesive should have been applied in a higher percentage and with a higher viscosity to present a better adhesion on the 100%- jupati particleboard. Santos (2021) and Barros Filho et al. (2011) stated that the voids and the insufficient resin resulted in low adhesion between the reinforcement and matrix because of the reinforcement's low density. According to Cesar et al. (2017), more adhesive enables better adhesion between the particles and thus improves physical and mechanical properties.

CONCLUSION

The evaluation of the feasibility of producing low-density particleboards with different levels of replacement of *Pinus oocarpa* wood by jupati petioles (25, 50, 75 and 100%).

The characterization of jupati revealed low density (120 kg/m³). This low density favored the particleboard's insulation properties but decreased the adhesive spread per particle. The content of suitable extractives (6.90%) is below 10% for the production of particleboards. Its drawbacks were the occurrence of silicon (1.02%) and high ash content (13.90%), thus presenting difficulties with the adhesion of the adhesive.

The water absorption and swelling thickness increasing levels of jupati. The mechanical properties of all jupati-containing panels have been reduced compared to 100% pine wood particle board, meeting standardized requirements. Thermal conductivities were similar among all particle boards, but 100% jupati particle boards showed superior sound insulation. Alone or combined with pine wood, jupati can maintain or improve the thermal and acoustic insulation of the panels, maintaining adequate mechanical strength.

Future work should focus on overcoming the inability of jupati particle boards to remain in highly humid environments by fine-tuning production. The possibilities include increasing the adhesive content of the panels and performing the calculation of materials in volumes, and carrying out the pre-treatment of jupati particles to remove impurities.

REFERENCES

ABNT NBR 11941, 2003. Madeira - Determinação da densidade básica.

ABNT NBR 13999, 2017. Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira.

ABNT NBR 14810-2, 2018. Painéis de partículas de média densidade. Parte2: Requisitos e métodos de ensaio.

ABNT NBR 14853, 2010. Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona.

ABNT NBR 7989, 2010. Pasta celulósica e madeira - Determinação de lignina insolúvel em ácido.

Andrade, L.M.F., Scatolino, M.V., Faria, D.L., César, A.A., Mendes, L.M., Guimarães, J.B., 2018. Inclusion of cellulose pulping waste for production of medium density particleboards. *Sci. For. Sci.* 46, 626–637. <https://doi.org/10.18671/SCIFOR.V46N120.11>

ANSI A208.1, 1999. Particleboard.

Astari, L., Sudarmanto, Akbar, F., 2019. Characteristics of Particleboards Made from Agricultural Wastes. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 359, 012014. <https://doi.org/110.1088/1755-1315/359/1/012014>

ASTM D1037-12, 2012. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.

Ayrilmis, N., Kwon, J.H., Han, T.H., 2012. Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. *Int. J. Adhes. Adhes.* 38, 79–83. <https://doi.org/10.1016/J.IJADHADH.2012.04.008>

Baharoğlu, M., Nemli, G., Sarı, B., Birtürk, T., Bardak, S., 2013. Effects of anatomical and chemical properties of wood on the quality of particleboard. *Compos. B. Eng.*, 52, 282–285. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013>

Barros Filho, R.M., Mendes, L.M., Novack, K.M., Aprelini, L.O., Botaro, V.R., 2011. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. *Ind Crops Prod* 33, 369–373. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2010.11.007>

Bekhta, P., Noshchenko, G., Réh, R., Kristak, L., Sedliačik, J., Antov, P., Mirski, R., Savov, V., 2021. Properties of Eco-Friendly Particleboards Bonded with Lignosulfonate-Urea-Formaldehyde Adhesives and pMDI as a Crosslinker. *Mater* 14, 4875. <https://doi.org/10.3390/MA14174875>

Bufalino, L., Protásio, T.P., Couto, A.M., Nassur, O.A.C., Sá, V.A., Trugilho, P.F., Mendes, L.M., 2012. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. *Pesqui. Florest. Bras.* 32, 13–21. <https://doi.org/10.4336/2012.PFB.32.70.13>

César, A.A.D.S., Bufalino, L., Mendes, L.M., Mesquita, R.G.D.A., Protásio, T.D.P., Mendes, R.F., Andrade, L.M.F., 2017. Transformação da casca de arroz em um produto de maior valor agregado: potencial para a produção de painéis particulados. *Ciência Florest.* 27, 303–313. <https://doi.org/10.5902/1980509826468>

CS-236-66, 1968. Mat formed wood particle board.

Furtini, A.C.C., Santos, C.A., Garcia, H.V.S., Brito, F.M.S., Dos Santos, T.P., Mendes, L.M.,

Guimarães Júnior, J.B., 2021. The Performance of cross laminated timber panels made of *Pinus oocarpa* and *Coffea arabica* waste. *Coffee Sci.* 16, e161854–e161854. <https://doi.org/10.25186/V16I.1854>

Gomes, D.A.C., Miranda, E.H.N., Furtini, A.C.C., Santos, C.A., Resende, M.D., Villarruel, D.C.V., Guimarães Júnior, J.B., 2021. Viabilidade De Compósitos Poliméricos De Polipropileno Reforçados Com Fibra De Bambu. *Rev Bras Eng Biosistemas* 15, 511–522. <https://doi.org/10.18011/bioeng2021v15n4p511-522>

Guimarães, I.L., Veloso, M.C.R.A., Lisboa, F.J.N., Mendes, R.F., Mendes, L.M., Farrapo, C.L., Guimarães Junior, J.B., 2019. Use of soybean hulls for the production of conventional panels of low density agglomerates. *Rev. Bras. Ciências Agrar.* 14, 1–6. <https://doi.org/10.5039/AGRARIA.V14I2A5643>

Guimarães Júnior, J.B., Xavier, M.M., Santos, T.S., Protásio, T.P., Mendes, R.F., Mendes, L.M., 2016. Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. *Pesqui. Florest. Bras.* 36, 435–442. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1036>

Helmstetter, A.J., Kamga, S.M., Bethune, K., Lautenschläger, T., Zizka, A., Bacon, C.D., Wieringa, J.J., Stauffer, F., Antonelli, A., Sonké, B., Couvreur, T.L.P., 2020. Unraveling the Phylogenomic Relationships of the Most Diverse African Palm Genus *Raphia* (Calamoideae, Arecaceae). *Plants* 9 549. <https://doi.org/10.3390/PLANTS9040549>

ISO 10534-2, 1998. Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes — Part 2: Transfer-function method.

Iwakiri, S., Trianoski, R., 2020. Painéis de madeira reconstituída, first ed., Ajir Gráfica e Editora Ltda, Curitiba.

JSA JIS A 1412-2, 2016. Test method for thermal resistance and related properties of thermal insulations -- Part 2: Heat flow meter apparatus.

Khedari, J., Nankongnab, N., Hirunlabh, J., Teekasap, S., 2004. New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. *Build. Environ.* 39, 59–65. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2003.08.001>

Leite, E.R., Protásio, T.P., Rosado, S.C.S., Trugilho, P.F., Tonoli, G.H.D., Bufalino, L., 2014. Evaluation of *Coffea arabica* L. Wood quality as a source of bioenergy. *Cerne* 20, 541–549. <https://doi.org/10.1590/01047760201420041282>

Longo, B.L., Cunha, A.B., Rios, A., Terezo, R.F., Almeida, C.C.F., 2015. *Scientia Forestalis* Technological characterization of particleboards made with waste of five tropical species 43, 907–917. <https://doi.org/10.18671/scifor.v43n108.15>

Maloney, T. M., 1993. Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing, first ed., Miller Freeman, San Francisco.

Martins, E.H., Vilela, A.P., Mendes, R.F., Mendes, L.M., Brandão Vaz, L.E.V.S., Guimarães Junior, J.B., 2018. Soybean waste in particleboard production. *Ciência e Agrotecnologia* 42, 186–194. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018422015817>

Mendes, R.F., Mendes, L.M., Mendonça, L.L., Guimarães Júnior, J.B., Mori, F.A., 2014. Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. *Cerne* 20, 329–336. <https://doi.org/10.1590/01047760.201420021273>

Menegale, M.L.D.C., Spadotti, G., Castro, A., Antonio, M., Mancuso, C., -Rodovia, E.M., Kubitschek, J., 2015. Silício: Interação com o sistema solo-planta. *J. Agron. Sci.* 435–454.

Miranda, E.H.N., Gomes, D.A.C., Resende, G.M.C.S., Guimarães, T.C., Mendes, L.M., Guimarães Júnior, J.B., 2022. Evaluation of the influence of the addition of bean residue in gypsum matrices. *Clean Technol Environ Policy* 2022 1, 1–11. <https://doi.org/10.1007/S10098-022-02389-9>

Narciso, C.R.P., Reis, A.H.S., Mendes, J.F., Nogueira, N.D., Mendes, R.F., 2021. Potential for the Use of Coconut Husk in the Production of Medium Density Particleboard. *Waste Biomass Valorization* 12, 1647–1658. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01099-x>

Neutelings, G., 2011. Lignin variability in plant cell walls: Contribution of new models. *Plant Sci.* 181, 379–386. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2011.06.012>

Protásio, T.P., Tonoli, G.H.D., Guimarães, M., Bufalino, L., Couto, A.M., Trugilho, P.F., 2012. Correlações canônicas entre as características químicas e energéticas de resíduos lignocelulósicos. *Cerne* 18, 433–439. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000300010>

Rahim, M., Djedjig, R., Wu, D., Bennacer, R., Ganaoui, M.E.L., 2021. Experimental investigation of hygrothermal behavior of wooden-frame house under real climate conditions. *Energy Built Environ.* <https://doi.org/10.1016/J.ENBENV.2021.09.002>

Rebello, V.S.M., 2016. Efeitos da mercerização em fibras de piaçava amazônica (*Leopoldinia piassaba*) para produção de painéis de partículas de média densidade. Master Thesis, Federal University of Amazonas.

Santos, P., Sousa, L., Godinho, L., Correia, J.R., Dias, A.M.P.G., 2021. Acoustic and thermal behaviour of cross-insulated timber panels. *J. Build. Eng.* 44, 103309. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103309>

Scatolino, M.V., Costa, A.O., Guimarães Júnior, J.B., Protásio, T.P., Mendes, R.F., Mendes, L.M., 2017. Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: Physical and mechanical properties. *Ciência e Agrotecnologia* 41, 139–146. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412038616>

Silveira, R.L.V.A., 2000. Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *eucalyptus grandis* w. hill ex maiden cultivadas em solução nutritiva. Thesis, Luiz de Queiroz College of Agriculture.

Soares, S., Soares, S.S., Guimarães Júnior, J.B., Mendes, L.M., Mendes, R.F., Protásio, T.P., Lisboa, F.N., 2017. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. *Rev. Ciência da Madeira (Brazilian J. Wood Sci.)* 8, 64–73. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v8n2p64-73>

Veloso, M.C.A.R., Lopes, F.M., Furtini, A.C.C., Silva, M.G., Mendes, L.M., Guimarães, J.B.,

2020. Low-density particleboard properties produced with jupati particles and eucalyptus wood. Rev. Bras. Ciências Agrar. 15. <https://doi.org/10.5039/AGRARIA.V15I4A8414>

**ARTIGO 2 - COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO REFORÇADOS COM FIBRA
DE PALMEIRA DA REGIÃO AMAZÔNICA**

(Submissão prevista na Construction and Building Materials – Versão preliminar em processamento para submissão)

COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO REFORÇADOS COM FIBRA DE PALMEIRA DA REGIÃO AMAZÔNICA

Diogo Antonio Correa Gomes^{1*}, Eduardo Hélio Novais Miranda¹, Maria Cecilia RAMOS DE ARAÚJO VELOSO³, Marcela Gomes da Silva², Gracialda Costa Ferreira², Lourival Marin Mendes¹, José Benedito Guimarães Júnior¹

¹ Forest Science Department, Federal University of Lavras, Brazil.

² Institute of Agricultural Sciences, Federal Rural University of the Amazon, Brazil.

³ Department of Environmental Sciences, Federal University of São Carlos - Campus Sorocaba, Brazil

*diogogomes548@gmail.com

HIGHLIGHTS

Importância das matérias-primas presentes na floresta Amazônica;

Avaliação do desempenho físico-mecânico da matriz de gesso na produção de compósitos biodegradáveis;

Valorização do pecíolo de jupati para produção de compósitos de baixa densidade;

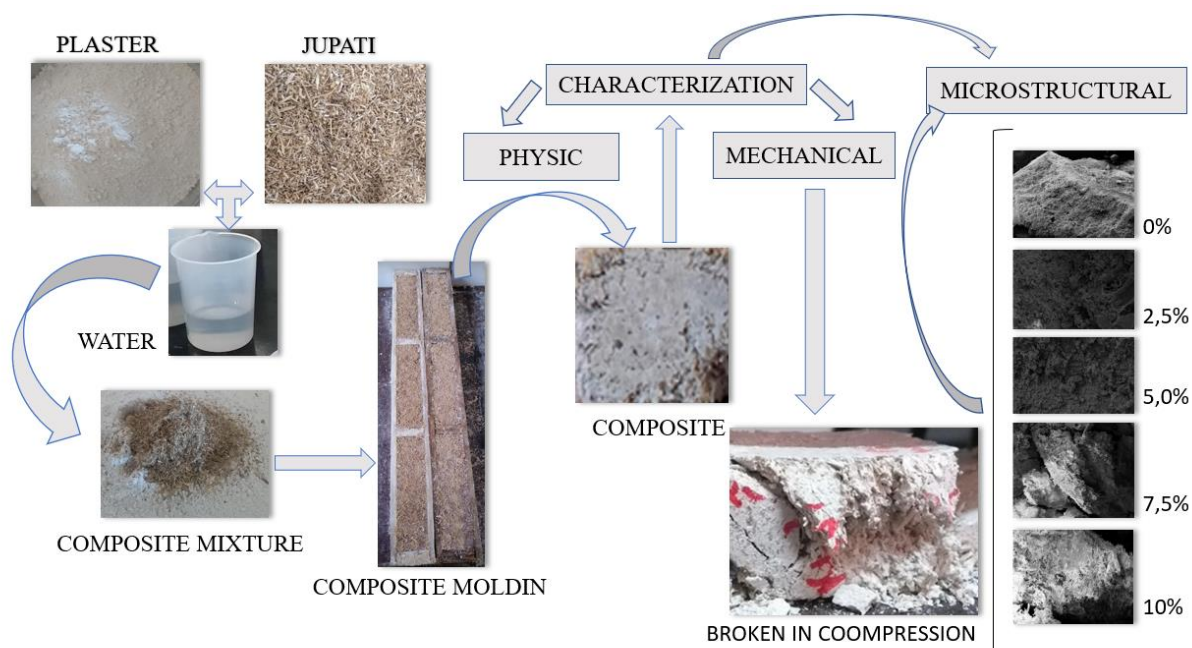
Os pecíolos de jupati apresenta baixa densidade e por isso auxiliam nas propriedades térmicas e acústicas;

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o reforço pecíolo de jupati (*Raphia taedigera*) em matrizes de gesso. Para tanto, foram confeccionados corpos de prova com 0, 2.5, 5.0, 7.5 e 10.0% de pecíolo em substituição e a relação água/gesso de 0.6. Foram avaliadas propriedades: físicas, mecânica e microestruturais. Os resultados demonstraram que a inserção do pecíolo ocasionou uma diminuição da densidade do compósito devido a elevada porosidade das partículas gerando bom desempenho térmico e acústico. Em relação ao módulo de ruptura, não se observou um bom desempenho devido a baixa interação conforme às imagens do SEM.

Palavras-Chave: Densidade, Microestrutura, Produtos de menor Impacto Ambiental, Propriedades acústicas, Propriedades térmicas.

GRAPHIC SUMMARY



INTRODUÇÃO

Diante da nova tendência social de ampliação dos processos de menor impacto ambiental nos diversos ramos de atividades econômicas humanas, a construção civil, responsável por cerca de 21 % do consumo de energia e 6,8 % da emissão de gases intensificadores do efeito estufa do mundo, vem sofrendo algumas modificações para adequação à nova realidade social (Gencel et al. 2022; Yu et al., 2020; Janjua et al., 2019).

Um dos produtos mais comuns produzidos pela indústria é o gesso, um mineral aglutinante, produzido pelo aquecimento da gipsita. O gesso é conhecido por algumas características importantes que incluem baixa densidade e fácil manipulação. Os compósitos formados por este elemento se destacam ainda como um dos principais materiais, principalmente, de construção de interiores, por causa de seu custo relativamente baixo e suas propriedades de isolamento térmico e acústico (Gonçalves et al. 2022; Park et al., 2019).

Uma das opções de baixo impacto para aperfeiçoar propriedades físico-mecânicas é através da sua substituição parcial por fibras vegetais. Tais elementos têm constituição química básica de extrativos, lignina, cinza, pectina e holocelulose, que podem sofrer alteração devido às condições de crescimento e a idade da planta (Dalmay et al., 2010). A maioria das fibras atua como um auxílio para a resistência a tração, mas também temos fibras com menores densidades que apresentam melhor desempenho nas propriedades térmicas e acústicas (Gomes et al, 2022, Xie et al., 2022; Bake et al., 2021; Huang et al., 2019).

Diante disto, novos estudos vêm buscando a substituição parcial deste componente por fibras vegetais. Vários autores, neste contexto, já estudaram essa interação a partir do uso de fibras de tabôa (*Typha angustifolia*) (Muntongkaw et al., 2021), de planta marinha (*Posidonia oceanica*) e pinus (*Pinus sylvestris*) (Kuço e Mai, 2021), de lã e de coco (Guna et al., 2021), capim (Gomes et al., 2021), resíduo trigo Gomes et al. (2022), resíduos feijão Miranda et al. (2022) e com partículas de cacau (Veloso et al., 2021), dentre outras.

Um dos materiais em constantes estudos são as palmeiras como reforço. Um exemplo e a bainha do pecíolo *Mauritia flexuosa* são materiais que podem ser utilizados na produção de compósitos e painéis de madeira. Essa palmeira é encontrada principalmente no bioma Amazonia, Cerrado e Pantanal no Brasil. (Faria et al.; 2022).

Outro material renovável, ainda não estudado nesta matriz, semelhante a *Mauritia flexuosa* é a palmeira de jupati, uma espécie nativa da Ásia e China e que se faz presente também em florestas tropicais, como na floresta Amazônica. Esta palmeira muitos troncos e pode atingir até 3 metros de altura em regime de crescimento lento. As folhas, fibras, sementes e cascas de jupati são comumente usadas para decoração de interiores, artesanato e também na produção de biodiesel, na região Norte do Brasil. A área de ocorrência desta palmeira se estende por 2.400 km² e assim a produção de óleo de jupati pode chegar a 10.800 t/ano sem destruir às florestas tropicais (Stauffer et al., 2017; da Conceição et al., 2011).

Devido ao grande número de plantações de jupati para a produção de óleo, apresenta-se assim a necessidade de um maior aproveitamento da parte interna do pecíolo (caule que liga a lâmina foliar ao ramo), que é, na maioria das vezes, subutilizada. (Stauffer et al., 2017; Da Conceição et al., 2011). Nos últimos tempos, estudos vem tentando o reuso da parte deste material para produção de compósito de gesso (Veloso et al., 2020).

Por isso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as propriedades químico-físico-mecânicas de compósitos de gesso produzidos com substituição parcial do gesso por pecíolo de jupati (0, 2.5, 5.0, 7.5 e 10 %) para verificação da viabilidade de produção deste produto.

METODOLOGIA

Obtenção e preparo das matérias-primas

O gesso utilizado para a produção dos compósitos foi adquirido no comércio local da cidade de Lavras - Minas Gerais, Brasil, (Figura 01 a) apresentando propriedades de acordo com as especificações da norma em EM 14496 (CEN, 2017). Os pecíolos do jupati foram

obtidos da floresta Amazônica na cidade de Abaetetuba - Pará, Brasil, localizada na latitude 1°38'52''S e longitude 48°49'18'' W.

Para obtenção das partículas, o material lignocelulósico foi processado em um moinho de martelos de alta rotação e posteriormente peneirado em um conjunto de peneiras. As partículas selecionadas para a produção dos compósitos foram as partículas passantes na peneira de 40 mesh e retidas na peneira de 60 mesh. (Figura 01 b). Tais partículas foram então secas até a umidade de ~3-4 %.



Fig. 1: Gesso fino comercial (a), partículas de jupati (b), compósito (c).

Análises para caracterização do material lignocelulósico

As partículas de jupati foram caracterizadas através dos seguintes ensaios: densidade aparente, com adaptação da norma NBR 11941 (ABNT, 2003), total de extrativos - NBR 14853 (ABNT, 2010), lignina insolúvel em ácido - NBR 7989 (ABNT, 2010) e teor de cinzas - ABNT NBR 13999 (ABNT, 2017). Todos os ensaios foram realizados em triplicata. O teor de holocelulose (H) também foi calculado através da Equação 1.

$$H (\%) = 100 (\%) - \text{total de extrativos} (\%) - \text{teor de lignina} (\%) - \text{teor de cinzas} (\%) \quad (1)$$

Por fim, as partículas “*in natura*” de jupati foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDS) a fim verificar sua superfície e elementos químicos constituintes. As amostras foram revestidas com ouro, para o MEV e com carbono, para o EDS, e elétrons secundários e retrodifusores detectores foram usados. O aparelho utilizado foi o SEM Dispositivo Zeiss EVO 40, sendo operado sob tensão de aceleração de 15 kV, corrente de sonda de 2 nA, com uma distância de trabalho variável, sem inclinação e diferentes ampliações.

Processo de produção dos compósitos

Os compósitos foram confeccionados com a inserção gradual da massa de gesso pelo material lignocelulósico, sendo ao todo cinco composições (Tabela 1). A escolha do nível de substituição nos tratamentos foi baseada no trabalho de Oliveira et al. (2020).

A relação água/gesso utilizada para a produção dos compósitos foi de 0,6. Tal relação foi escolhida por apresentar boa trabalhabilidade mesmo com o acréscimo das fibras, boa homogeneidade e facilidade para moldagem (OLIVEIRA et al., 2020).

Tabela 1: Diferentes composições dos compósitos produzidos com gesso e partículas de jupati (relação massa/massa).

Tratamento	Gesso (%)	Jupati (%)
T1	100.0	0
T2	97.5	2.5
T3	95.0	5.0
T4	92.5	7.5
T5	90.0	10.0

Visando a posterior avaliação das propriedades, os corpos de prova foram produzidos com o auxílio de uma forma feita de fibras de média densidade (MDF), fabricada com fundo em madeira, de forma a garantir que suas dimensões fossem de 40 x 40 x 160 mm, conforme especificações da EN 13279-2 (CEN, 2014) (Fig 2). Para cada tratamento foram moldados seis corpos de prova.



Fig. 2: Corpos de prova nos moldes (a).

Depois de 24 horas da moldagem, os corpos de prova já solidificados foram retirados dos moldes e colocados em local bem ventilado e livre da ação de intempéries (Figura 3). Posteriormente, foram encaminhados para uma sala climatizada $22 \pm 2^\circ\text{C}$, onde permaneceram durante seis dias, a fim da realização de uma cura homogênea. No sétimo dia, os corpos de prova foram preparados para os ensaios.



Fig. 3: Corpo de prova desmoldados.

Avaliação das propriedades dos compósitos

Foram realizados os ensaios para determinação de umidade na base seca (W) - NBR 7190 (ABNT, 1997); densidade aparente (ρ) - NBR 45 (ABNT, 2006); absorção de água (WA) - adaptação da norma ASTM D570-98 (ASTM, 2018); condutividade térmica (K) - adaptação da norma JIS 1412-2 (JSA, 2016) e isolamento acústico - adaptação da norma ISO 10534-2 (ISO, 1998).

Para avaliação das propriedades mecânicas, foram realizados os ensaios de resistência à flexão e à compressão em máquina universal de ensaios, de acordo com a norma EN 13279-2 (CEN, 2014). Com os resultados obtidos em ambos os ensaios foi possível calcular o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) dos corpos de prova.

Após sofrerem ruptura no ensaio de flexão, os corpos de prova foram encaminhados para análise em MEV com o intuito de verificar o tipo de fratura ocorrida e a interação entre as

partículas de gesso e de jupati. Os parâmetros da análise foram os mesmos adotados para o MEV / EDS das partículas “*in natura*”.

Análise estatística dos resultados

A fim de verificar os efeitos do acréscimo das partículas de jupati na qualidade dos compósitos, os resultados foram avaliados utilizando delineamento inteiramente casualizado e submetidos à análise de regressão linear e variância (ANOVA) à 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do material lignocelulósico

Na Tabela 2 podem ser encontrados os resultados para as propriedades físicas e químicas das partículas do pecíolo de jupati.

Table 2: Physical and chemical properties of the lignocellulosic material.

	Density (g/cm ³)	Extractives (%)	Lignin (%)	Ashes (%)	Holocellulose (%)
Jupati	0.11 ± 0.02	6.90 ± 1.01	33.52 ± 11.65	13.90 ± 1.27	45.68 ± 13.93

O valor encontrado para a densidade foi (0.11 g/cm³), valor baixo segundo o instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1985) (<0.50 g/cm³). Esse baixo valor de densidade do jupati é bom para o melhoramento das propriedades térmicas e acústicas do compósito de gesso e foi ainda menor que a densidade dos resíduos de feijão apresenta densidade de (0,24 g/cm³), que já apresentaram um bom resultado quanto a estas propriedades. (Miranda et al.; 2022).

A densidade dos pecíolos de jupati foi também inferior a densidade do gesso 0,80 g/cm³), e dessa forma, a utilização este material torna se atrativo por tornar um compósito mais leve e com mais ganho produtivo (EN 13.279–1 (CEN 2008).

O teor de lignina encontrado no pecíolo foi de 33,52%, valor próximo ao encontrado por Veloso et al.; (2021), para o mesmo material (29,28 %) e ao encontrado por Scatolino et al.; (2017) para o pergaminho de café (28,32 %). Esse componente hidrofóbico pode causar retardamento da hidratação do gesso. Assim com o pré-tratamento temos a melhora das propriedades físicas e mecânicas do compósito. (Fonseca et al., 2020; Martins et al., 2018).

O pecíolo apresentou ainda um teor de extrativo, outro componente relacionado ao retardo na hidratação do cimento, de 6,90%. Esses valores foram inferiores em relação a outros materiais lignocelulósicos bagaço da cana de açúcar (16,59%); Protásio et al. (2012); cacto (17,64 %) e *Pinus taeda* (5,28%) Miranda, et al.; (2022); bambu 23,25% Gomes, et al (2021) resíduos lenhosos café (15,53%) Santos, et al (2021) e pecíolo de jupati (7,46%) Veloso et al., 2021. Os valores do pecíolo foram menores que 10% por isso compatíveis em relação ao estudo de Veloso et al., 2021 e *Pinus taeda*. Miranda, et al (2022).

Para o teor de cinzas, o material apresentou teores mais altos do que encontrado por Veloso et al.; (2021) foi (3,17%) para o mesmo material. Em relação aos outros materiais vegetais foi encontrado: resíduo de feijão (16,94%) Miranda et al., (2022), *pinus oocarpa* (1,25%) Furtini et al, (2022), *Mauritia flexuosa* (5,25%) Faria et al, (2022), pergaminho do café (4,92%) (Soares, et al. 2017), resíduo da colheita do milho (6,83%) (Protásio et al., 2012), bambu (0,22%) Gomes, et al.; (2021). O pecíolo de jupati apresentou valores semelhantes ao estudo de Miranda et al, (2022), mais valores bem mais alto em comparação aos pecíolos de jupati de Veloso et al. (2021) foi (3,17%). Essa diferença dos valores de cinza está relacionada devido os materiais lignocelulosicos possuírem variações devidas às diferentes condições de cultivo e colheita por isso em alguns casos pode ser contaminado por agentes inorgânicos. (Selamat et al., 2019).

Já o teor de holocelulose encontrado foi de 45,68%. O pecíolo de jupati apresentou menores valores em relação aos seguintes estudos: *pistachio shell* 51,71% Brito et al (2021), *Pinus Oocarpa* (63,29%), Furtini et al (2022), resíduo do feijão (56,25%) Miranda et al, (2022), resíduo trigo (60,10%) Gomes et al, (2022). Baixos níveis de holocelulose são favoráveis para ser ter menor umidade e absorção de água no compósito, visto que a holocelulose possui grupos hidroxila (OH) altamente hidrofílicos (Selamat et al., 2019, Guimarães Júnior et al., 2016). Isto dificulta, na maioria das vezes, o uso desses materiais em diversas aplicações pelo impacto em algumas propriedades físicas dos materiais compósitos (Iwakiri; Trianoski, 2020).

Caracterização física dos compósitos

A densidade aparente dos compósitos é apresentada na (Fig., 04), por isso os resultados mostram que houve uma redução significativa na densidade aparente dos materiais compósitos após a substituição parcial do gesso pelo material lignocelulósico, variando de 1,52 g/cm³ da amostra de referência a 0,93 g/cm³ na amostra com 10,0% de jupati. Essa redução da densidade era esperada já que foi constatada uma menor densidade no material lignocelulósico em relação ao gesso.

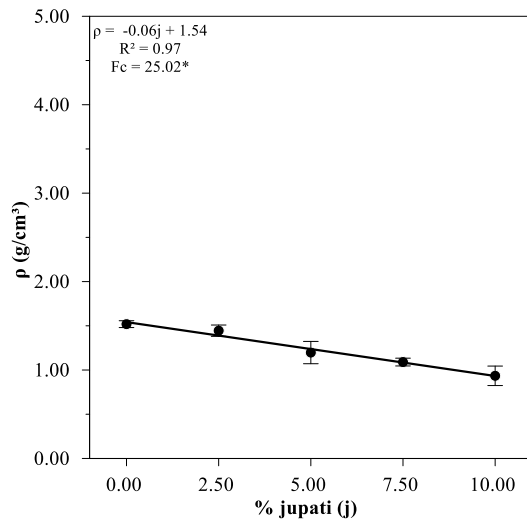
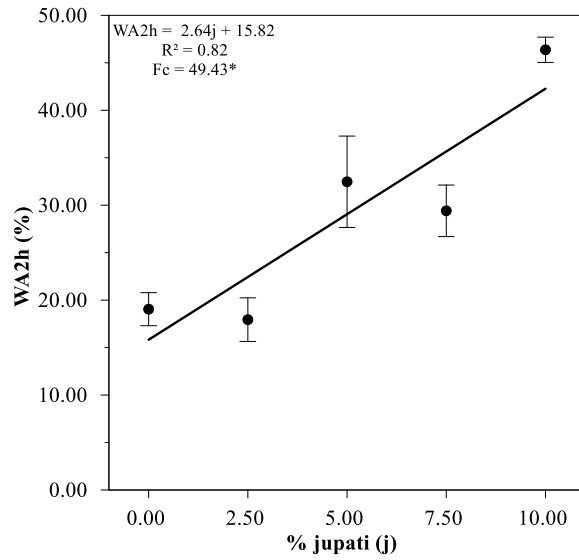


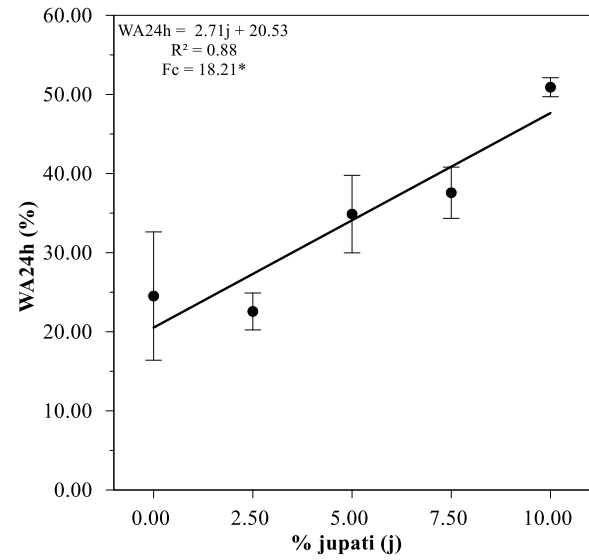
Fig. 04: Densidade Aparente.

Essa redução da densidade era esperada, devido às partículas serem volumosas. Assim foi constatada uma menor densidade no material lignocelulósico em relação ao gesso. Sendo que a maior porcentagem de partículas apresentou densidade aparente 1,00 g/cm³, tendo um compósito mais leve. De acordo com Merino (2022), em seu trabalho composto de resíduos mistos de agregados cerâmicos pode ser considerado como gesso leve, pois atinge densidade interior 1,00 g/cm³.

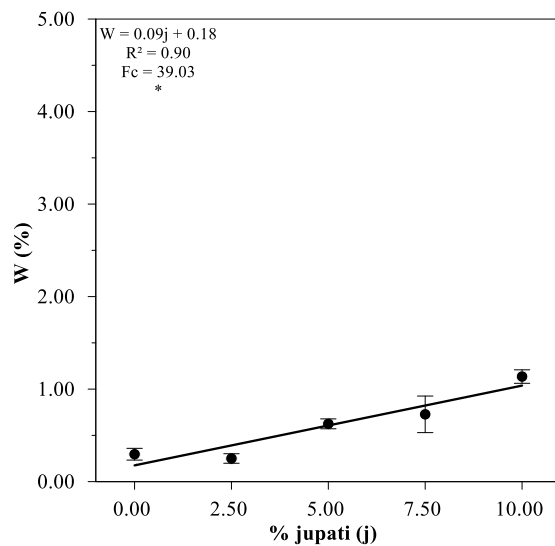
Os compósitos com a presença das partículas de jupati, tiveram aumentos significativos da absorção de água e umidade, quando este material foi inserido na matriz de gesso (Fig. 05).



(a)



(b)



(c)

Fig. 05: (a) Absorção água 2h, (b) Absorção água 24h, (c) umidade

A maior absorção de água em ambos os compósitos foi nas primeiras duas horas. Durante este período tem uma relação com água de cristalização em decorrência da inserção de fibras hidrofóbicas provoca o maior aumento da absorção de água principalmente nas primeiras horas. Lanzón, (2022).

Depois deste período o índice de absorção apresentou um pequeno aumento. A absorção dos compósitos a 24h de imersão teve uma variação de 25 % na amostra referência a 53% na incorporação de 10%. Os resultados apresentados por Oliveira et al. (2020), ao produzir

compósitos utilizando gesso como matriz e fibras de madeira de eucalipto como material de reforço, também indicaram uma tendência semelhantes com um aumento na absorção de água dos compósitos a 24h de imersão, que variou de 19,48% na amostra de referência a 26,14%, após a incorporação de 10% do resíduo lignocelulósico.

Conforme apresentado na figura 05 C, os compósitos com maiores incorporações apresentaram também um maior teor de umidade, tendência que semelhantemente a absorção de água, está relacionada ao alto valor de holocelulose. (Guimarães Júnior et al., 2016). Fatores de porosidade e cavidades nos compósitos tem grande interferência na absorção de água e na umidade do compósito. Xie et al. (2022).

Os valores de umidade até 2,50% apresentaram valores semelhantes, maiores inserções tiveram uma amplificação dos valores, sendo assim o gesso não apresenta boa afinidade com água neste caso ao inserir material hidrofóbico tem maiores absorção de água no compósito. De acordo com Miranda (2022), uma redução dos valores de umidade em até 5% de inserção de fibra de feijão foi apresentada. Os diferentes materiais lignocelulósicos apresentam diferentes composições químicas em sua estrutura vegetal, e por isso, diferentes valores das porcentagens hidrofóbicas. (Iucolano et al., 2019).

Com relação a propriedade de condutividade térmica (Fig. 06), entretanto, os resultados indicam que, em geral, a incorporação de jupati no gesso não alterou a condutividade térmica do material compósito. No entanto, houve uma pequena diminuição, a amostra padrão com valor 0,32 W/mK e a maior incorporação 0,28 W/mK, essa pequena redução pode ser atribuída à densidade aparente do compósito após a substituição parcial do gesso por jupati, pois quanto menor a densidade, maior o número de espaços vazios e menor sua condutividade térmica, devido à baixa propagação de calor dentro do material (Bake et al., 2021; Srinivasaraonaik et al., 2020).

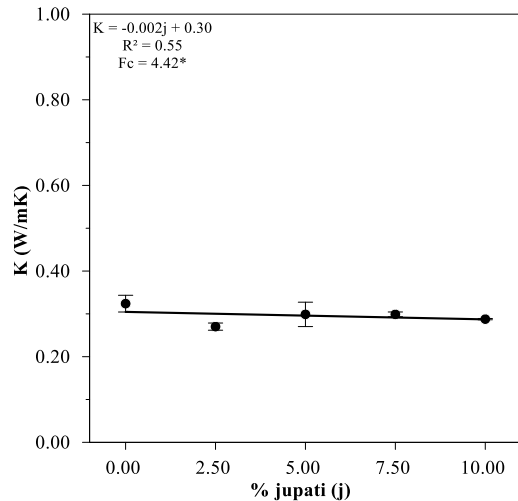


Fig. 06: Condutividade Térmica

De acordo com Miranda et al. (2022) os compósitos com maior incorporação tiveram valor de 0,28 W/mK. Neste caso apresentaram valores semelhantes ao encontrado com pecíolo de jupati na matriz de gesso. Essa compatibilidade está relacionada devido o gesso apresentar baixa condutividade em seus poros, o que faz com que o material seja resistente à passagem de calor assim tendo maior condutividade. (Gomes et al, 2023, Srinivasaraonaik et al., 2020; Iucolano et al., 2019).

De acordo ainda com Marinho et al. (2013), ao avaliarem as propriedades termofísicas de compósitos de gesso com fibras de coco, observaram que os compósitos produzidos com 8 mm e 10 mm de fibras de coco, apresentaram uma redução de aproximadamente 13% e 22%, respectivamente, nos valores de condutividade térmica, quando comparados com corpos de prova de gesso sem fibras. Os pecíolos de jupati pode ter tido uma menor variação desses valores devido à disposição e espessura da camada das partículas, por isso apresenta uma diferenciação devido a espessura em relação a dimensão das fibras citadas.

Os compósitos apresentaram uma tendencia decrescente com incorporações em maiores teores de pecíolo tendo o valor de condutividade de 0,34 W/mK. Valores semelhantes com a adição de diatomita do gesso este material tem alta porosidade e a menor densidade aparente o mesmo acontece com o compósito em estudo. Xiaoqi (2022), Liuzzi, 2018.

O comportamento a atividade sonora jupati, entretanto, apresenta uma menor frequência na faixa de 1000 Hz e com uma maior disparidade a 500 Hz (Fig., 07). De acordo com Novais et al. (2021) e Pedreño-Rojas et al. (2017) quando comparamos a placa de gesso e outros aditivos juntamente temos um melhoramento acústico sendo a menor taxa de frequência de 250

e 2000 Hz, com maior disparidade em 500Hz. No caso estudo o compósito de gesso com jupati apresentou comportamento semelhante sem a adição de aditivos.

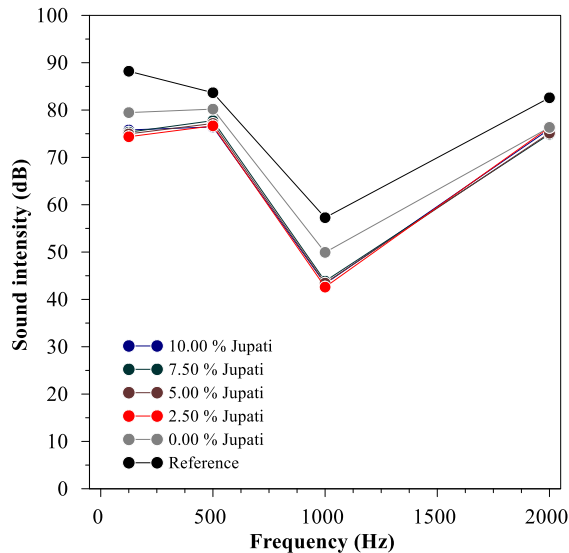


Fig. 07: Frequência sonora

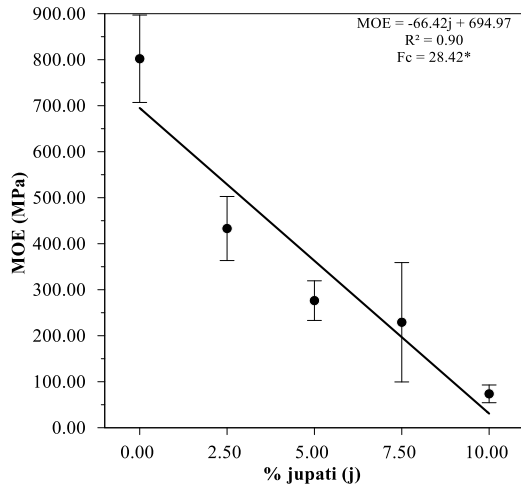
Quando são incorporadas partículas de menores dimensões, como no caso do jupati, apresentou um aumento do seu volume e por isso traz um impacto positivo para a atividade sonora principalmente nas maiores porcentagens. Em semelhança a isso, no estudo de Novais et al. (2021), os autores utilizaram grânulos de menores dimensões, e a tendência de um aumento do volume de cortiça também foi positiva para aumento do isolamento acústico.

A utilização de compósitos com melhor desempenho térmico e acústico tem vários benefícios principalmente quando são utilizados materiais de menor densidade. Gera-se assim maior valor agregado para os materiais de vedação da construção civil. (Xie et al., 2022; Jia et al., 2021; Marinho et al., 2021).

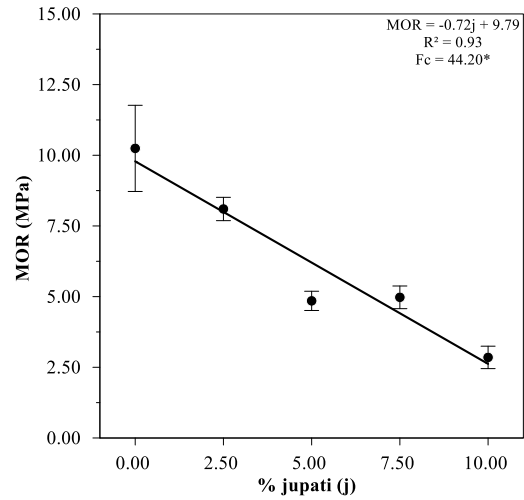
Caracterização mecânica dos compósitos

Os resultados de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR), advindos dos ensaios de compressão e da flexão estáticas estão apresentados na (Fig. 08). Em ambos ensaios, os maiores valores de propriedades mecânicas foram obtidos nos compósitos sem a presença de reforço fibras; após o reforço, tais propriedades obtiveram uma redução

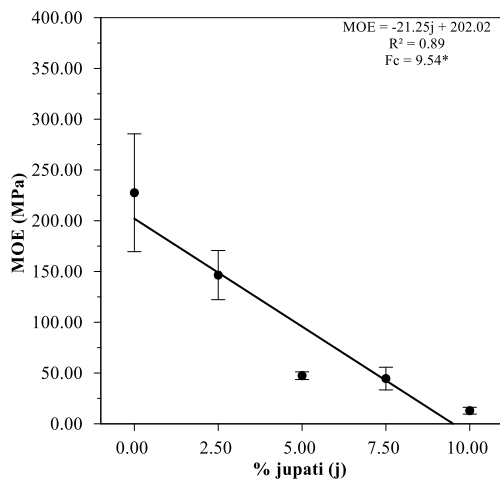
significativa proporcional ao aumento do teor de partículas de jupati nas amostras, confirmando tendências apresentadas na literatura (Gonçalves et al., 2022; Iucolano et al., 2019).



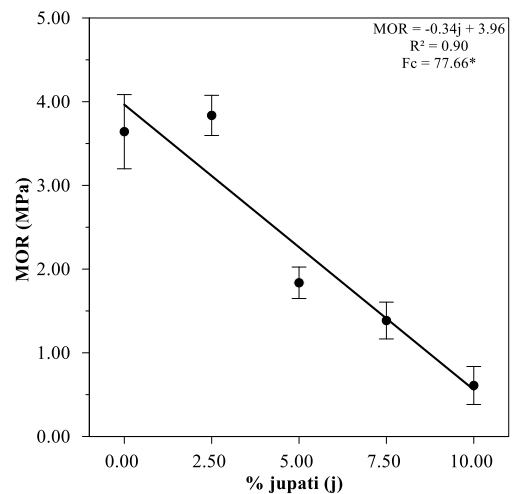
(a)



(b)



(c)



(d)

* Análise de regressão significativa a 5 % de significância.

Fig. 08: Módulo de Elasticidade (MOE) (a) e Módulo de Ruptura (MOR) (b) da resistência à compressão de compósitos e Módulo de Elasticidade (MOE) (c) e Módulo de Ruptura (MOR) (d) de resistência à flexão.

Os compósitos com maiores porcentagens de fibras apresentam uma característica mais quebradiças e isso é decorrente da redução de aglomerante gesso e o aumento do número de

partículas de jupati. A tendência de redução das propriedades mecânicas com o uso de maiores quantidades de reforço pode estar relacionada ainda a uma fraca interação entre o reforço e a matriz devido a porosidade. (Bake et al., 2021). Todos os compósitos produzidos ultrapassaram, no entanto, o valor mínimo de 2,00 MPa exigido pela norma EN 13279-1 (CEN 2008) para o MOR à compressão do gesso (Fig; 7 b).

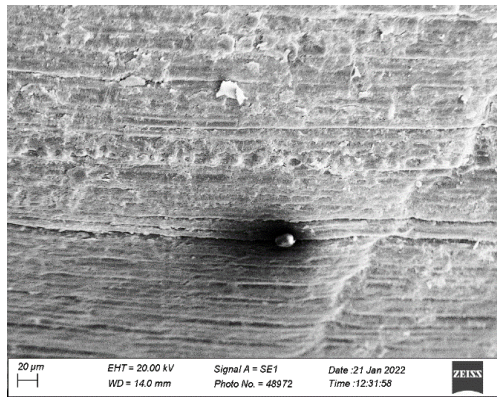
Para ser ter uma melhora das propriedades mecânicas deveria ter realizado pré tratamento nas partículas antes da moldagem do compósito. Em estudo realizado por Olivares (2020), o pré-tratamento de fibras do bagaço de cana de açúcar com hidróxido de cálcio permite a vedação dos poros e por essa razão é notável que os compósitos apresentaram melhor desempenho atingindo os valores MOR de flexão e compressão maiores que 3 MPa.

De acordo com Srinivasaraonaik et al. (2020), ao adicionarem maiores porcentagens de partículas com tratamento obtiveram uma redução da compressão do gesso. Para o MOR da flexão (Fig; 8 d), porém, a norma preconiza um valor mínimo de 1 MPa, valor não atingido para amostras a partir de 8,71 % de pecíolo de jupati de acordo com a análise linear. Essa ocorrência da maior porcentagem não ter atingido pode estar relacionado com a distribuição das partículas dos compósitos. (Gonçalves et al., 2022; Srinivasaraonaik et al., 2020; Tichi et al., 2020).

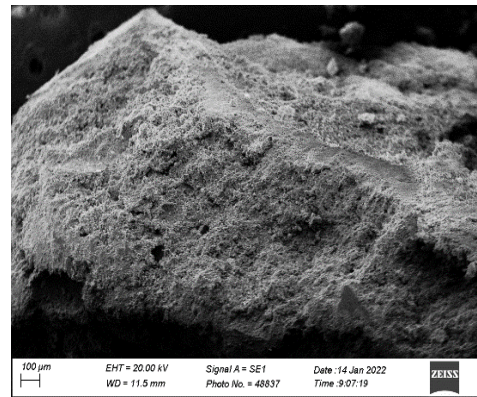
O MOE de flexão foi abaixo de 3MPa. De acordo com Ngah (2020) matrizes de gesso reforçada com tecido de juta tiveram a resistência acima de 3 MPa. Os valores de MOE e MOR de flexão (Fig 8 c, d) dos compósitos de jupati tiveram uma redução nas maiores porcentagens isso está relacionado com a densidade aparente e valores elevados de porosidade e área superficial presente entre a fibra matriz como mostra na (Fig 08 a), esse acúmulo de tensões causa a ruptura. O mesmo aconteceu com o trabalho de Xiaogui Li (2022), quando adiciona deatomita este produto tem baixa densidade aparente e alta porosidade e com decorrência disto temos menos resistência a flexão devido pela alta concentração de diatomita que causa a concentração de tensões no compósito.

Caracterização microestrutural dos compósitos

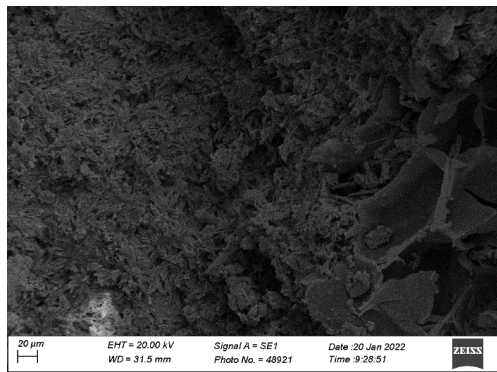
As imagens da Fig. 9 mostram as microscopias de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das partículas de jupati nos diferentes tratamentos.



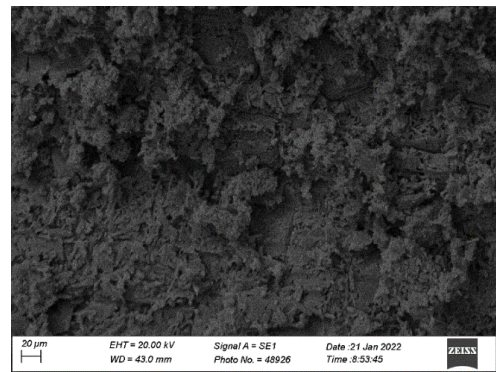
(a)



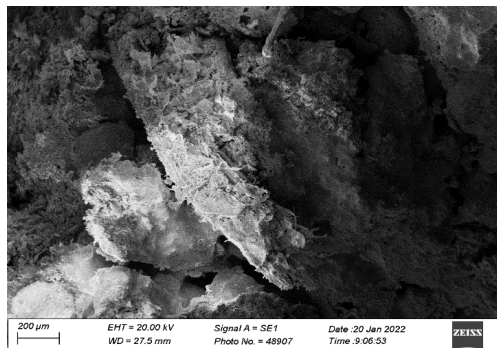
(b)



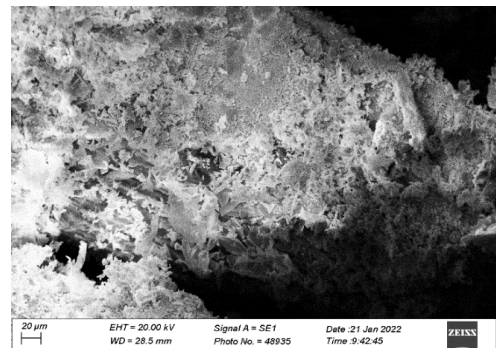
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 9 SEM images of: (a) jupati, (b) gypsum matrix, (c) composite with 2.5 % of jupati fibers, (d) composite with 5.0 % of jupati fibers, (e) composite with 7.5 % of jupati fibers, (f) composite with 10 % of jupati fibers.

No composto de referência (Fig. 9 b), observam-se cristais de gesso, típicos de sua morfologia cristalina e ausência poros visíveis. Portanto observamos nas imagens dos compostos com incorporação de jupati que todos apresentam defeitos internos em formato de agulhas. (Conceição et al., 2021; Nghan 2020, Srinivasaraonaik et al., 2020).

Esses defeitos são decorrentes do grande volume de partículas de jupati e assim representam locais que não foram totalmente hidratados com gesso devido à falta de liquidez

da pasta devido a absorção de água ocorrida nas fibras. (Miranda et al.; 2022; Gonçalves et al., 2022; Oliveira et al., 2020; Carvalho et al., 2008; Vimmrová et al., 2011).

Observa-se também nas imagens da microestrutura do gesso com maior presença de partículas de jupati apresentam mais frágeis que podem ter afetado as propriedades mecânicas apresentadas (Fig 08). Analisa-se também que as partículas não foram dispersas uniformemente na matriz de gesso, ou seja, a ligação gesso-jupati não foi a ideal, e isso pode ajudar a entender novamente as baixas propriedades mecânicas encontradas em tais compósitos. (Gonçalves et al., 2022; Tichi et al., 2020; Veloso et al., 2021; Iucolano et al., 2019).

Para os compósitos produzidos com reforço de fibra (Fig. 9c, d, e, f), no entanto, vazios são notados, o que pode ter contribuído para as boas propriedades térmicas e acústicas demonstradas na Figura 6 e 7; eles podem ter ocorrência devido a estrutura porosa das fibras “*in natura*” (Figura 9 a). Além disso, não foi observado preenchimento de poros e essa ausência pode ter causado as grandes cavidades observadas, o que pode significar uma redução na estabilidade dimensional e densidade dos compósitos. (Gomes et al. 2022, Gencel et al. 2022, Tichi et al., 2020; Veloso et al., 2021).

CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que a medida que se aumenta o teor do material na matriz, há uma diminuição da densidade aparente dos compósitos e uma melhora na condutividade térmica e isolamento acústico.

Além disso, houve aumento na absorção de água principalmente nas primeiras duas horas de submersão em água e umidade fatores relacionados à característica hidrofílica do pecíolo de jupati.

Em relação às propriedades mecânicas, houve redução da resistência de flexão e compressão. O compósito que apresentou melhor comportamento em relação a inserção foi com os níveis de substituição de 2,5% e os demais tendo um decréscimo de sua resistência. Esses resultados são atribuídos principalmente à fraca interação das partículas com a matriz, verificada pelas imagens SEM.

Em futuros estudos tem a necessidade de estar fazendo pré-tratamento das partículas de jupati para assim ser testado em diferentes granulometrias e maiores porcentagens de pecíolo jupati trazendo bom desempenho das propriedades: mecânicas, físicas e microestruturais.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 11941 NBR11941 Madeira - Determinação da densidade básica.
- ABNT NBR 13999 NBR13999 Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira.
- ABNT NBR 14853, A. B. DE N. T. **Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona.** Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT NBR 7989, A. B. DE N. T. **Pasta celulósica e madeira - Determinação de lignina insolúvel em ácido.** Rio de Janeiro, 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: **Projetos de estruturas de madeira** (1997).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 45: **Agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios** (2006).
- BAKE, M.; SHUKLA, A.; LIU, S. Development of gypsum plasterboard embodied with microencapsulated phase change material for energy efficient buildings. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 4, p. 166–176, 2021. Elsevier.
- BARBOSA, A. D. M.; REBELO, V. S. M.; MARTORANO, L. G.; GIACON, V. M. Caracterização de partículas de açaí visando seu potencial uso na construção civil. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 3, 2019. Laboratório de Hidrogênio, Coppe - Universidade Federal do Rio de Janeiro, em cooperação com a Associação Brasileira do Hidrogênio, ABH2.
- BRAIEK, A.; KARKRI, M.; ADILI, A.; IBOS, L.; NASRALLAH, S. BEN. Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building. **Energy and Buildings**, v. 140, p. 268–279, 2017. Elsevier.
- Brito, F.M.S., Silva, P.X.S.E., Palumbo, S.K.D.C., Júnior, J.B.G., Mendes, L.M., 2021. Caracterização tecnológica de painéis de partículas constituídos com casca de pistache (*Pistacia vera*) e madeira de *Pinus oocarpa*. **Rev. Bras. Ciências Agrárias**, 16, 1–8.
- CARVALHO, M. A.; CALIL, C.; SAVASTANO, H.; TUBINO, R.; CARVALHO, M. T. Microstructure and mechanical properties of gypsum composites reinforced with recycled cellulose pulp. **Materials Research**, v. 11, n. 4, p. 391–397, 2008. ABM, ABC, ABPol.
- CONCEIÃO, L. R. V.; DA COSTA, C. E. F.; DA ROCHA FILHO, G. N.; ZAMIAN, J. R. Obtaining and characterization of biodiesel from jupati (*Raphia taedigera* Mart.) oil. **Fuel**, v. 90, n. 9, p. 2945–2949, 2011. Elsevier.
- CORRESPONDENTE, A.; JUNIOR, J. B. G.; XAVIER, M. M.; et al. Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 435–442, 2016. Embrapa Florestas.
- DALMAY, P.; SMITH, A.; CHOTARD, T.; et al. Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: Influence of hemp or flax fibres on the properties of set gypsum. **Journal of Materials**

Science, v. 45, n. 3, p. 793–803, 2010. Springer. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-009-4002-x>>. Acesso em: 25/7/2022.

DEL Río Merino, M., Astorqui, J.S.C., Sáez, P.V., Jiménez, R.S., Cortina, M.G., 2018. Eco plaster mortars with addition of waste for high hardness coatings. **Constr. Build. Mater.** 158, 649–656. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.10.037>

EN 13279-2:2014 - Gypsum binders and gypsum plasters - Part 2: Test methods. .

EN 14496:2017 - Gypsum based adhesives for thermal/acoustic insulation composite panels and gypsum.

European Committee of Standardization. EN 13279-1: Gypsum binders and gypsum plasters - Part 1: Definitions and requirements (2008).

Faria, D.L., Guimarães, J.C.O., de Paula Protásio, T., Mendes, L.M., Junior, J.B.G., 2022. Conventional low-density particleboards produced from *Mauritia flexuosa* and *Eucalyptus* spp. wood. **Clean Technol. Environ. Policy** 24, 2761–2771. <https://doi.org/10.1007/S10098-022-02350-W/FIGURES/8>

FONSECA, R. P. DA; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Mechanical Properties of Mortars Reinforced with Amazon Rainforest Natural Fibers. **Materials** 2021, Vol. 14, Page 155, v. 14, n. 1, p. 155, 2020. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

Furtini, A.C.C., Brito, F.M.S., Junior, M.G., Furtini, J.A.O., de Matos Alves Pinto, L., de Paula Protásio, T., Mendes, L.M., Junior, J.B.G., 2022. Substitution of urea–formaldehyde by renewable phenolic compound for environmentally appropriate production of particleboards. **Environ. Sci. Pollut. Res.** 29, 66562–66577. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-20468-8/FIGURES/15>

FURTINI, A. C. C.; DOS SANTOS, C. A.; GARCIA, H. V. S.; et al. The Performance of cross laminated timber panels made of *Pinus oocarpa* and *Coffea arabica* waste. **Coffee Science - ISSN 1984-3909**, v. 16, p. e161854–e161854, 2021. Editora UFLA. Disponível em: <<http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1854>>. Acesso em: 14/7/2022.

GENCEL, O.; HEKIMOGLU, G.; SARI, A.; et al. Glass fiber reinforced gypsum composites with microencapsulated PCM as novel building thermal energy storage material. **Construction and Building Materials**, v. 340, p. 127788, 2022. Elsevier.

Gomes, D.A.C., de Novais Miranda, E.H., Resende, F.C. et al. Analysis of the influence of wheat residues on gypsum composites. **Innov. Infrastruct. Solut.** 8, 31 (2023). <https://doi.org/10.1007/s41062-022-01007-3>

GOMES, D. A. C.; HÉLIO NOVAIS MIRANDA, E.; CAROLINA CORRÊA FURTINI, A.; et al. Viabilidade De Compósitos Poliméricos De Polipropileno Reforçados Com Fibra De Bambu. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 4, p. 511–522, 2021.

GONÇALVES, R. M.; MARTINHO, A.; OLIVEIRA, J. P. Evaluating the potential use of recycled glass fibers for the development of gypsum-based composites. **Construction and**

Building Materials, v. 321, p. 126320, 2022. Elsevier. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061822000149>>. Acesso em: 16/1/2022.

GUNA, V.; YADAV, C.; MAITHRI, B. R.; et al. Wool and coir fiber reinforced gypsum ceiling tiles with enhanced stability and acoustic and thermal resistance. **Journal of Building Engineering**, v. 41, p. 102433, 2021. Elsevier.

HUANG, X.; ZHU, C.; LIN, Y.; FANG, G. Thermal properties and applications of microencapsulated PCM for thermal energy storage: A review. **Applied Thermal Engineering**, v. 147, p. 841–855, 2019. Pergamon.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1985. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. IPT. São Paulo, Brasil. .

ISO - ISO 10534-2:1998 - Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes — Part 2: Transfer-function method. .

IUCOLANO, F.; BOCCARUSSO, L.; LANGELLA, A. Hemp as eco-friendly substitute of glass fibres for gypsum reinforcement: Impact and flexural behaviour. **Composites Part B: Engineering**, v. 175, p. 107073, 2019. Elsevier.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. **Painéis de madeira reconstituída**. Ajir Gráfica e Editora Ltda., 2020.

JANJUA, S. Y.; SARKER, P. K.; BISWAS, W. K. Sustainability assessment of a residential building using a life cycle assessment approach. **Chemical Engineering Transactions**, v. 72, p. 19–24, 2019. Italian Association of Chemical Engineering - AIDIC.

JIA, R.; WANG, Q.; FENG, P. A comprehensive overview of fibre-reinforced gypsum-based composites (FRGCs) in the construction field. **Composites Part B: Engineering**, v. 205, p. 108540, 2021. Elsevier.

JSA - JIS A 1412-2 - Test method for thermal resistance and related properties of thermal insulations -- Part 2: Heat flow meter apparatus | Engineering360. .

KUQO, A.; MAI, C. Mechanical properties of lightweight gypsum composites comprised of seagrass *Posidonia oceanica* and pine (*Pinus sylvestris*) wood fibers. **Construction and Building Materials**, v. 282, p. 122714, 2021. Elsevier.

Lanzón, M., Castellón, F.J., Ayala, M., 2022. Effect of the expanded perlite dose on the fire performance of gypsum plasters. **Constr. Build. Mater.** 346, 128494. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128494>

Li, X., Yu, T., Park, S.J., Kim, Y.H., 2022. Reinforcing effects of gypsum composite with basalt fiber and diatomite for improvement of high-temperature endurance. **Constr. Build. Mater.** 325, 126762. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.126762>

LISBOA, F. J. N.; SCATOLINO, M. V.; DE PAULA PROTÁSIO, T.; et al. Lignocellulosic Materials for Production of Cement Composites: Valorization of the Alkali Treated Soybean Pod and Eucalyptus Wood Particles to Obtain Higher Value-Added Products. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 5, p. 2235–2245, 2020. Springer.

Liuzzi, S., Rubino, C., Stefanizzi, P., Petrella, A., Boghetich, A., Casavola, C., Pappalettera, G., 2018. Hygrothermal properties of clayey plasters with olive fibers. **Constr. Build. Mater.** 158, 24–32. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.10.013>

MARINHO, G. S.; CUNHA, P. W. S.; GOMES, U. U. PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE COMPÓSITO DE MATRIZ DE GESSO E FIBRA VEGETAL. **HOLOS**, v. 1, p. 127–138, 2013. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

MARTINS, E. H.; VILELA, A. P.; MENDES, R. F.; et al. Soybean waste in particleboard production. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 2, p. 186–194, 2018. Editora da UFLA.

Miranda, E.H. de N., Silva, G.A. da, Gomes, D.A.C., Silveira, M.N.L. da S., Vitorino, F. de C., Ferreira, S.R., 2022. Efeito de diferentes espécies de madeira e bambu na hidratação de matrizes à base de cimento Portland. **Matéria (Rio Janeiro)**.

Miranda, E.H.N, Gomes, D.A.C., Resende, G.M.C.S., Guimarães, T.C., Mendes, L.M., Júnior, J.B.G., 2022. Evaluation of the influence of the addition of bean residue in gypsum matrices. **Clean Technol. Environ. Policy** 1, 1–11. <https://doi.org/10.1007/S10098-022-02389-9/FIGURES/8>

MUNTONGKAW, S.; PIANKLANG, S.; TANGBORIBOON, N. Modifications to improve properties of gypsum ceiling composites as multifunctional construction by embedding *Typha angustifolia* fiber and natural rubber latex compound. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00658, 2021. Elsevier.

Ngah, S.A., Dams, B., Ansell, M.P., Stewart, J., Hempstead, R., Ball, R.J., 2020. Structural performance of fibrous plaster. Part 1: Physical and mechanical properties of hessian and glass fibre reinforced gypsum composites. **Constr. Build. Mater.** 259, 120396. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.120396>

NOVAIS, R. M.; SENFF, L.; CARVALHEIRAS, J.; et al. Simple and effective route to tailor the thermal, acoustic and hygrothermal properties of cork-containing waste derived inorganic polymer composites. **Journal of Building Engineering**, v. 42, p. 102501, 2021. Elsevier.

OLIVEIRA, H. DE; YOON, B.; MICHAUD, V.; NAM, J. DO; SUHR, J. All natural cork composites with suberin-based polyester and lignocellulosic residue. **Industrial Crops and Products**, v. 109, p. 843–849, 2017. Elsevier B.V.

PARK, J. H.; KANG, Y.; LEE, J.; et al. Analysis of walls of functional gypsum board added with porous material and phase change material to improve hygrothermal performance. **Energy and Buildings**, v. 183, p. 803–816, 2019. Elsevier.

PEDREÑO-ROJAS, M. A.; MORALES-CONDE, M. J.; PÉREZ-GÁLVEZ, F.; RODRÍGUEZ-LIÑÁN, C. Eco-efficient acoustic and thermal conditioning using false ceiling plates made from plaster and wood waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 690–705, 2017. Elsevier.

PROTÁSIO, T. DE P.; TONOLI, G. H. D.; GUIMARÃES, M.; et al. Correlações canônicas entre as características químicas e energéticas de resíduos lignocelulósicos. **CERNE**, v. 18, n.

3, p. 433–439, 2012. UFLA - Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/cerne/a/fyFQKH36bd8BtLzxD6hPkL/?lang=pt>>. Acesso em: 14/7/2022.

Santos, C.A., Furtini, A.C.C., Villarruel, D.C.V., de Novais Miranda, E.H., Gomes, D.A.C., Mendes, L.M., Júnior, J.B.G., 2022. Use of *Pinus oocarpa* and *Coffea arabica* wood for the production of oriented particle board (OSB). **Res. Soc. Dev.** 11, e40611326795–e40611326795. <https://doi.org/10.33448/RSD-V11I3.26795>

SCATOLINO, M. V.; DE OLIVEIRA COSTA, A.; GUIMARÃES, J. B.; et al. Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: Physical and mechanical properties. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 2, p. 139–146, 2017. Editora da UFLA.

SCATOLINO, M. V.; SILVA, D. W.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Use of maize cob for production of particleboard. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 4, p. 330–337, 2013. Editora da UFLA.

SILVA OLIVEIRA, A.; SILVA VILLELA, L.; CECÍLIA RAMOS DE ARAÚJO VELOSO, M.; et al. Compósitos com matriz de gesso reforçada com fibras de madeira de eucalipto Composites with gypsum matrix reinforced with eucalyptus wood fibers. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 127, p. 2020.

SOARES, S. S.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; et al. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 8, n. 2, p. 64–73, 2017.

SOARES, S.; SOARES, S. S.; JÚNIOR, J. B. G.; et al. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 8, n. 2, p. 64–73, 2017.

SOUZA CONCEIÇÃO, L.; DE VASCONCELOS FERRAZ, A.; PEREIRA RAMOS, R.; BÁRBARA DE SOUZA SILVA, Y.; DOS SANTOS COSTA, D. Application of bromocresol purple dye for plaster drying time determination. **Construction and Building Materials**, v. 278, p. 122378, 2021. Elsevier.

SRINIVASARAONAIK, B.; SINGH, L. P.; SINHA, S.; TYAGI, I.; RAWAT, A. Studies on the mechanical properties and thermal behavior of microencapsulated eutectic mixture in gypsum composite board for thermal regulation in the buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 31, p. 101400, 2020. Elsevier.

STAUFFER, F. W.; OUATTARA, D. N.; ROGUET, D.; et al. An update to the African palms (Arecaceae) floristic and taxonomic knowledge, with emphasis on the West African region. **Webbia**, v. 72, n. 1, p. 17–30, 2017. Taylor and Francis Ltd.

TICHI, A. H.; KHADEMIESLAM, H.; DIVKOLAE, M. R. Influence of nano wollastonite on physical, mechanical and morphological properties of gypsum composites manufactured from bagasse. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 405–416, 2020. Universidad del Bio-Bio.

VELOSO, M. C. R. A.; LOPES, F. M.; CORRÊA FURTINI, A. C.; et al. Low-density particleboard properties produced with jupati particles and eucalyptus wood. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, p. 1–8, 2020.

VELOSO, M. C. R. A.; VILLELA, L. S.; JÚNIOR, L. M.; et al. Produção e caracterização de compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduo da agroindústria do cacau. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 1, 2021. Laboratório de Hidrogênio, Coppe - Universidade Federal do Rio de Janeiro, em cooperação com a Associação Brasileira do Hidrogênio, ABH2.

VILLELA, L. S.; DE CASTRO, E. D.; JÚNIOR, L. M.; et al. Desempenho físico-mecânico de compósitos à base de gesso reforçados com embalagens multicamadas trituradas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 3, p. 1–11, 2020. Laboratório de Hidrogênio, Coppe - Universidade Federal do Rio de Janeiro, em cooperação com a Associação Brasileira do Hidrogênio, ABH2.

VIMMROVÁ, A.; KEPPERT, M.; SVOBODA, L.; ČERNÝ, R. Lightweight gypsum composites: Design strategies for multi-functionality. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, n. 1, p. 84–89, 2011. Elsevier.

XIE, L.; ZHOU, Y.; XIAO, S.; et al. Research on basalt fiber reinforced phosphogypsum-based composites based on single factor test and RSM test. **Construction and Building Materials**, v. 316, p. 126084, 2022. Elsevier.

YU, M.; ROBATI, M.; OLDFIELD, P.; et al. The impact of value engineering on embodied greenhouse gas emissions in the built environment: A hybrid life cycle assessment. **Building and Environment**, v. 168, 2020. Elsevier Ltd.

**ARTIGO 3 - VALORIZATION OF RECYCLED LOW-DENSITY POLYETHYLENE
AND BIOMASS FROM THE AMAZONIAN PALM TREE THROUGH THE
PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS**

(Submetido no periódico Composites Part B: Engineering em processamento de análise)

Composites Part B
**VALORIZATION OF RECYCLED LOW-DENSITY POLYETHYLENE AND BIOMASS
FROM THE AMAZONIAN PALM TREE THROUGH THE PRODUCTION OF
COMPOSITE MATERIALS**
--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Full Length Article
Keywords:	Density; Matrix-reinforcement interaction; Mechanical properties; Microstructure; Sustainable production
Corresponding Author:	Diogo Gomes BRAZIL
First Author:	Diogo Antonio Correa Gomes
Order of Authors:	Diogo Antonio Correa Gomes EDUARDO HÉLIO NOVAIS MIRANDA MARIA CECILLIA RAMOS DE ARAÚJO VELOSO MARCELA GOMES DA SILVA GRACIALDA COSTA FERREIRA LOURIVAL MARIN MENDES JOSÉ BENEDITO GUIMARÃES JÚNIOR
Manuscript Region of Origin:	South America
Abstract:	The research aimed to evaluate the effects of different contents of jupati particles on the properties of composites with a matrix of recycled low-density polyethylene (LDPE). The composites were produced with 0, 5, 10 and 15% of jupati particles inserted in the LDPE matrix, and the moisture, bulk density, water absorption, flammability and mechanical resistance were determined. The inclusion of the lignocellulosic material caused an increase in the density, indicating absence of pores, and in the other properties of the composites, except the modulus of rupture. These results were related to its chemical characteristics and the low interaction with the matrix, which can be verified in the scanning electron microscopy images. The work results are interesting and propitiate the development of further questions related to the production parameters, different particle sizes and use of compatibilizing agents to verify the possible effects on the composites.

VALORIZATION OF RECYCLED LOW-DENSITY POLYETHYLENE AND BIOMASS FROM THE AMAZONIAN PALM TREE THROUGH THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS

Diogo Antonio Correa Gomes^{1*}, Eduardo Hélio Novais Miranda¹, Maria Cecilia RAMOS DE ARAÚJO VELOSO², Marcela Gomes da Silva³, Gracialda Costa Ferreira³, Lourival Marin Mendes¹, José Benedito Guimarães Júnior¹

¹ Forest Science Department, Federal University of Lavras, Brazil.

² Department of Environmental Sciences, Federal University of São Carlos - Campus Sorocaba, Brazil

³ Institute of Agricultural Sciences, Federal Rural University of the Amazon, Brazil.

[*diogogomes548@gmail.com](mailto:diogogomes548@gmail.com)

HIGHLIGHTS

Use of Amazonian biomass for the development of polymeric composites.

Application of low-density particles in the extrusion process.

Physical-mechanical evaluation of recycled and biodegradable composites.

Satisfactory compaction contributed to the absence of porosity of the composites.

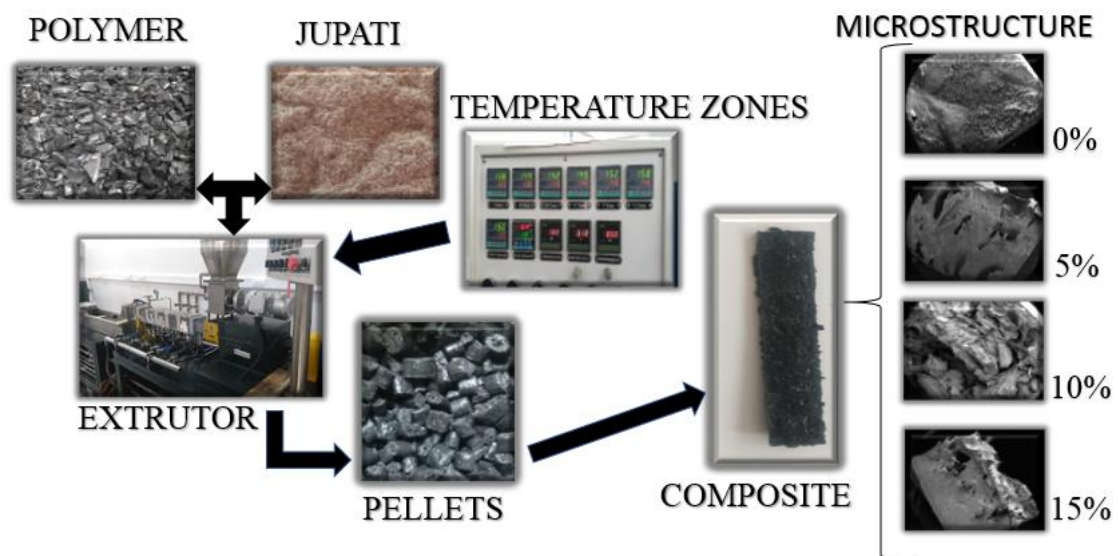
The influence of the parameters of the production process on the properties of the composites.

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the effects of different contents of jupati particles on the properties of composites with a matrix of recycled low-density polyethylene (LDPE). The composites were produced with 0, 5, 10 and 15% of jupati particles inserted in the LDPE matrix, and the moisture, bulk density, water absorption, flammability and mechanical resistance were determined. The inclusion of the lignocellulosic material caused an increase in the density, indicating absence of pores, and in the other properties of the composites, except the modulus of rupture. These results were related to its chemical characteristics and the low interaction with the matrix, which can be verified in the scanning electron microscopy images. The work results are interesting and propitiate the development of further questions related to the production parameters, different particle sizes and use of compatibilizing agents to verify the possible effects on the composites.

Keywords: Density, Matrix-reinforcement interaction, Mechanical properties, Microstructure, Sustainable production

GRAPHIC ABSTRACT



INTRODUCTION

The use of polymeric materials, especially disposables, has been increasing in recent years due to the pandemic of COVID-19 and consequently, polymeric waste also undergoes an increase in generation. Between the years 1950 and 2015, approximately 8,300 million metric tons of virgin plastic were produced; furthermore, by the year 2050, 12,000 million metric tons of plastic waste is projected to be disposed of in landfills and natural environments (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017). The sectors that use plastic materials the most are the construction industry (19%) and the packaging sector (42%) (ACUÑA-PIZANO et al., 2022).

In the recent years, North America, China and Europe have been the top three production hubs for these products. In China, for example, the production of polymeric composite parts tripled between 2010 and 2012. Among the common everyday materials produced with thermoplastic matrices are: pergolas, cladding, decking, furniture, decorative items, brises, skirting boards, plastic car parts, etc. (CHAUDEMANCHE et al., 2018; COLETTI et al., 2021).

The thermoplastic products, in this context, are the materials that cause more degradation in the environment, due to the solid waste generated after the disposal of products.

To minimize this impact, these wastes can be recycled for the creation of new materials, including polymeric composites, taking advantage of its high generation and low cost (NAJAFI, 2013). However, recycling rates are still low. Brazil, for example, is the 4th largest generator of this plastic waste but only 1.8% is recycled (KAZA et al., 2018). This reinforces the need to value these materials in order to encourage their recycling and utilization.

Another point related to the theme is the fact that the production of these polymeric materials comes from non-renewable sources, derived from petroleum. Due to all the problems surrounding this raw material and the effects caused on the environment, new materials are being developed with insertion of lignocellulosic materials in polymeric matrices, thus generating biodegradable products (KAZA et al., 2018; ZIMMERMANN; ZATTERA, 2013). However, the incorporation of these materials must be careful since the density and volume can hinder the production of the composites (FRIEDRICH, 2021; VÄISÄNEN et al., 2016). Therefore, studies related to this topic are still needed to understand the properties and responses of the material.

Among the raw materials used for the production of polymer composites is low-density polyethylene (LDPE). This is considered a material of high strength to density ratio, high chemical resistance, and other advantages (JORDAN; CHESTER, 2017). Its use and valorization in recycled state, as previously discussed, rises as a possibility for reducing environmental impacts (KAZA et al., 2018; KAZEMI; FINI, 2022; SANTOS et al., 2021).

Regarding the plant raw material for the production of composites, wood has already been used (AYRILMIS; KWON; HAN, 2012). However, it is understood that any lignocellulosic material may be able to be incorporated into polymeric matrices for production of composites (BHASKAR et al., 2021). Thus, it becomes interesting to verify other viable sources for use to expand the supply of raw material.

This subject has already been explored, as can be seen in works with the production of composites with LDPE matrix reinforced with banana pseudostem fibers (JORDAN; CHESTER, 2017) and with cocoa almond husk (Velooso et al., 2021), composites with coffee waste in polypropylene matrix (GARCÍA-GARCÍA et al., 2015), among others. New research seeks alternatives for the use of materials from different agricultural and forestry crops that are not used and thus have the effect of preserving planted forests and preserving the use of non-renewable resources (AYRILMIS; KWON; HAN, 2012; FRIEDRICH, 2021; KAZEMI; FINI, 2022).

The Amazon rainforest has a large abundance of palm species. One of the Amazon Forest products used for oil and biodiesel production are the fruits of the jupati palm (*Raphia*

taedigera) (Bastos et al., 2020; Conceição et al., 2021). This palm tree has slow growth, several trunks, and can reach up to three meters in height. It is a native species of Asia and China and has much occurrence in tropical forests, such as in the northern region of Brazil. The leaves, fibres, seeds and bark of jupati are commonly used for interior decoration and handicrafts, being a species of great importance in the wetland ecosystem (Veloso et al., 2021; Helmstetter et al., 2020).

The jupati has been already studied previously by Veloso et al. (2021) in the production of agglomerated panels at maximum replacement levels of up to 15% of the reference wood. Bastos et al. (2020) and Conceição et al. (2011) also used it for biodiesel production. However, studies related to the evaluation of this lignocellulosic material for application in polymeric matrices and production of composites have not been found. In this context, this work aimed to evaluate the effects of the gradual inclusion of jupati petiole particles in a matrix of recycled LDPE from analysis of the physical, mechanical and microstructural properties of these composites produced.

MATERIAL AND METHODS

Obtaining and preparation of the lignocellulosic materials

The jupati petioles were collected from the Amazon Forest located in Abaetetuba, Pará, Brazil (latitude 1°38'52" S and longitude 48°49'18" W). The recycled low-density polyethylene (LDPE) was purchased from a recycling industry located in the city of Lavras, Minas Gerais, Brazil. To homogenize the size of the particles, the petioles were sieved, and the particles retained on the 60 mesh sieve were used (Fig.01A). The polymeric material was homogeneous with particles of 1.5 x 4.0 cm (Fig. 01B). Both materials were in sufficient quantities to feed the extruder without the need for pre-treatment.

These raw materials were sent to the laboratory oven at a temperature of 75°C where they remained until they reached a moisture content between 3 and 4%. Soon after drying, the particles were packed in airtight containers in order to avoid contact with the environment humidity.

Characterization of the lignocellulosic material

To perform the physical and chemical analyses, the jupati particles were ground in a Willey mill and classified on 40 mesh (0.420 mm) and 60 mesh (0.250 mm) sieves. The fraction retained on the 60 mesh sieve was selected and stored in an environment with relative humidity

of $65 \pm 3\%$ and temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$. Subsequently such particles were characterized through the following tests:

- Moisture (W) - NBR 14810-2 (ABNT, 2018);
- Basic density (ρ) - adaptation of the standard NBR 11941 (ABNT, 2003);
- Total extractives - NBR 14853 (ABNT, 2010);
- Lignin insoluble in acid - NBR 7989 (ABNT, 2010);
- Ash content - NBR 13999 (ABNT, 2017).

With the characterization data of extractives, lignin and ash content it was also possible to calculate the holocellulose content (H) (Equation 1).

$$H (\%) = 100 (\%) - \text{total extractives} (\%) - \text{lignin content} (\%) - \text{ash content} (\%) \quad (1)$$

To evaluate the degradation temperatures of the chemical components of the material, a thermogravimetric analysis (TGA) was performed on the particles. The test was performed in an open alumina crucible and the samples were heated from 25 to 500°C in nitrogen flowing at 20 mL/min with a heating rate of $10^\circ\text{C}/\text{min}$. The degradation temperature was determined from the baseline inflection in the differential thermogravimetric (DTG) curve).

In addition, electron dispersive spectroscopy (EDS) was performed in a SEM Zeiss EVO 40 (Oberkochen, Baden-Württemberg, Germany) equipment belonging to the Department of Plant Pathology of UFLA. For this purpose, the jupati particles were submitted to a carbon bath. Secondary electron and backscattering detectors were used, and the microscope was operated under an accelerating voltage of 15 kV and probe current of 2 nA.

Production of the polymeric composites

The polymeric composites were produced with the gradual replacement of the recycled low-density polyethylene (LDPE) mass by the jupati mass, totalizing four treatments (described below). The choice of the degree of substitution was made based on an adaptation to the work of VELOSO et al., 2021 due to the characteristics of the lignocellulosic material, such as its low density, in order to avoid large volumes of the material.

- LDPE_100: 100% polyethylene and 0% jupati
- LDPE_95/JUP_5: 95% polyethylene and 5% jupati
- LDPE_90/JUP_10: 90% polyethylene and 10% jupati
- LDPE_85/JUP_15: 85% polyethylene and 15% jupati

After the raw materials were mixed according to the specified compositions, a 600 g mass of each treatment was processed in a twin-screw extruder (Fig. 1C), with manual feeding. During the extrusion process, the material went through six heating zones, 138°C - 144°C - 142°C - 146°C - 152°C - 158°C (Fig. 1D), forming a cord at the extruder exit that was then cut in a machine into small pellets (Fig. 1E).

Metallic molds with dimensions 120x12x3 mm (length, width and thickness) were used to produce the samples for the physical and mechanical tests, which were completely filled with the granules in order to avoid voids. The molds with the material were forwarded to an automatic hydraulic press MA 098 with pressing cycle of 135°C, 5 MPa for 15 minutes (Velooso et al., 2021).

After the fusion of materials in the pressing process, the samples were cooled, demolded and sent to an acclimatized room with temperature of $22 \pm 2^\circ\text{C}$ and relative humidity of $65 \pm 5\%$ for total curing of the composite, for a period of 7 days. Ten samples were produced per treatment to perform the tests (Fig. 1F).

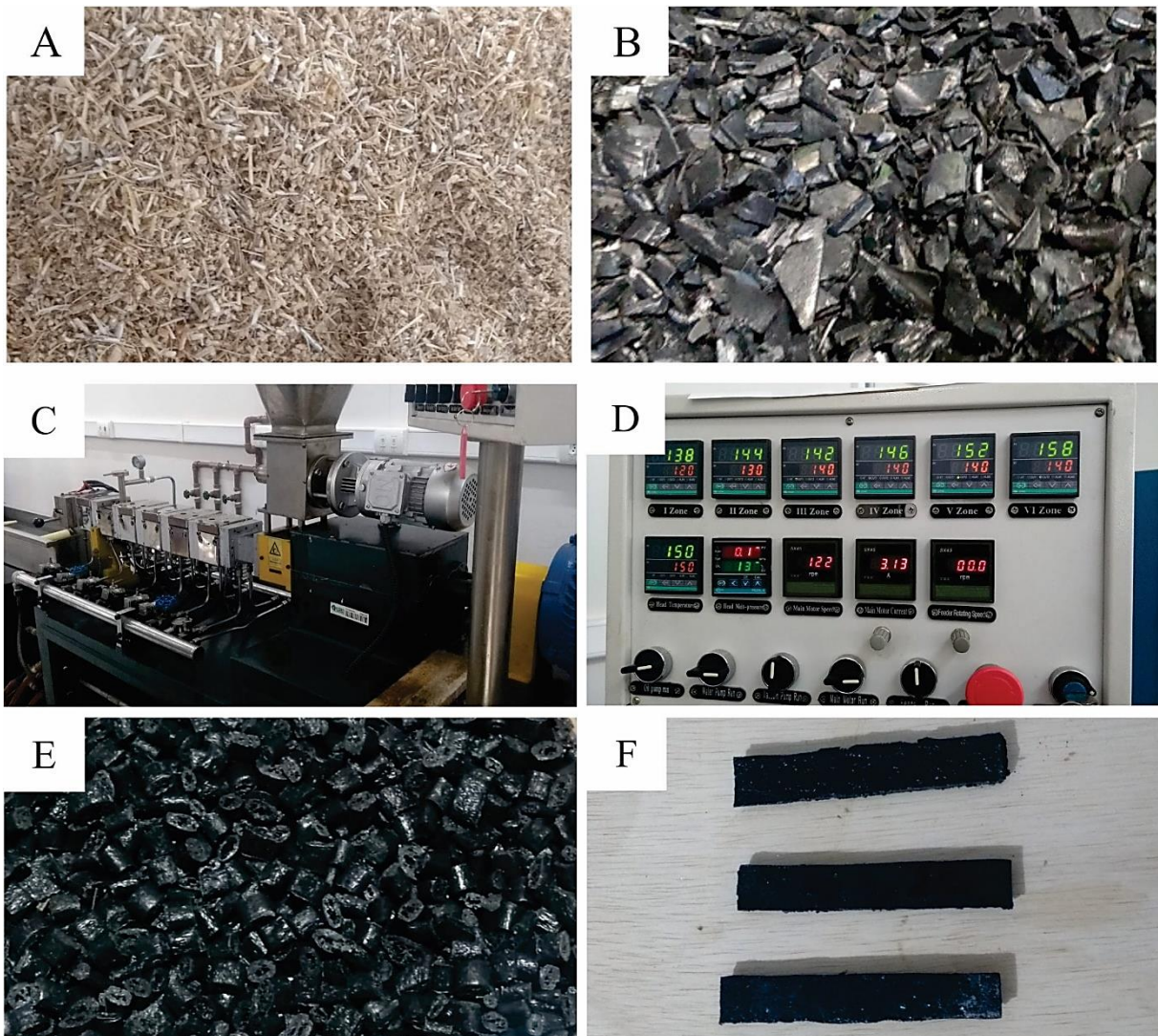


Fig. 1. Raw materials used for the production of the composites and production process, being: A) Jupati particles, B) Low density polyethylene (LDPE), C) Extruder, D) Detail of the temperatures used in the extrusion process, E) Pellets of the mixtures after extrusion and F) Samples for testing.

Evaluation of the composites

The influence of the incorporation of the jupati particles in the polymer matrix was analyzed from the results of the physical tests of moisture on a dry basis (W) (Veloso et al., 2021); water absorption in 24h of immersion (WA24h) based on ASTM D570-98 (ASTM, 2018); flammability test, according to adaptations of UL-94 (UL, 1986); and bulk density (ρ), measured by the ratio between mass and volume of the samples.

A mechanical tensile test was performed in a universal testing machine following the parameters described in ASTM D638-01 (ASTM, 2002). From this test were obtained the properties of modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) of the samples.

Scanning electron microscopy (SEM) images were taken in the region of the traction rupture to evaluate the interaction between the particles and the matrix. For this, the samples were subjected to gold plating and subsequently were analyzed in a Zeiss microscope Model DSM 940^a with the same parameters adopted for the EDS of the particles.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Characterization of the lignocellulosic material

Chemical and physical characterization

The moisture content found in the jupati particles was 5.28%. This content is considered low and is adequate, since moisture contents above 15.00% can impair the properties of composites by the presence of possible bubbles arising from the evaporation of gases during the extrusion/pressing process (BARBOSA et al., 2019; SOARES et al., 2017). Similar values were found for other lignocellulosic materials such as cocoa almond husk (3%) (Veloso et al. (2021) and coffee bean parchment (4%) (SCATOLINO et al., 2017).

The apparent density found in the lignocellulosic material was 120 kg/m³. This value, according to the Institute for Technological Research (IPT, 1985), characterizes the jupati as a material of low density. For the production of polymeric composites are desirable raw materials of lower density because the composite becomes a lighter material, generating a gain in the logistical process (IWAKIRI; TRIANOSKI, 2020).

Regarding to the chemical properties of the material it was observed that 6.90 % of its composition is of extractives and 33.52 % of lignin. The values found for lignin were higher than those obtained for soybean waste (22.04 %) (BORGES et al., 2022) and coffee waste (29.28 %) (DOS SANTOS et al., 2022). The extractives data were lower than those obtained in sugar cane bagasse (19.59 %) (SOARES et al., 2017) and soybean wastes (13.69 %) (BORGES et al., 2022). The variations presented were expected considering that each lignocellulosic material presents specific chemical structure (GRAUPNER et al., 2014).

The ash content of the material was 13.90 %, higher than that found for cocoa waste (3.17 %) (Veloso et al., 2021), coffee parchment (0.57 %) (SCATOLINO et al., 2017), bamboo fibers (0.22 %) (GOMES et al., 2021b) and lower than that found by bean waste (16.94 %)

(Miranda et al., 2022). The ash is the inorganic fraction of the material and, thus, this variation is related to the different conditions of cultivation and harvesting of lignocellulosic materials (IWAKIRI; TRIANOSKI, 2020).

The holocellulose content was 45.68%, lower than that found in corn cob studied by Scatolino et al. (2013) (76.70%) and for bean wastes studied by Miranda et al. (2022) (56.55%). Lignocellulosic materials are highly hydrophilic due to the hydroxyl (OH) groups present in holocellulose. This can hinder the use of these materials in various applications due to the possible increase of water and moisture absorption (Guimarães Júnior et al., 2016). In this sense, low levels of holocellulose are favorable to help control hydrophobicity (FURTINI et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2017).

Characterization by thermogravimetry

The result of the thermogravimetric analysis of the jupati petiole particles can be analyzed by means of the TGA and DTG curves (Fig. 2).

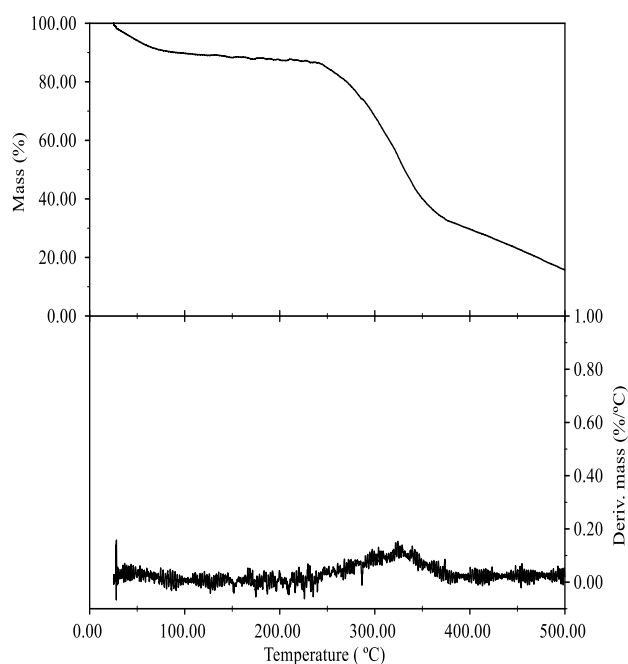


Fig. 2. Resulting TGA and DTG curves.

In the TGA plot an absorbed water loss of 10.18 % can be observed under ~ 120 /160 °C (DOMÍNGUEZ et al., 2017). Even though the material is oven dried, the total elimination is hindered by their hydrophilic character (AZADEH; GHAVAMI, 2018). Also, according to Das

et al. (2021), in the period from 100 to 300°C, besides the loss of absorbed water, other impurities present in the lignocellulosic material are decomposed.

Between 200 and 400 °C there is a region of decomposition of hemicellulose and cellulose of 51.70 % in jupati particles. This process is associated with depolymerization of hemicellulose, pectin and the cleavage of glycosides and cellulose bonds (AZADEH; GHAVAMI, 2018; DAS et al., 2021; LEI et al., 2019).

The lignin finally decomposes between 400 and 500 °C (28.04 %), and after this temperature the mass loss is negligible (ACCHAR; DULTRA; SEGADÃES, 2013; LEI et al., 2019; SAI REVANTH et al., 2020). The decomposition of these lignocellulosic components reported in literature is compatible with the chemical characterization of jupati.

Electron Dispersive Spectroscopy – EDS

The information obtained by EDS indicates a large presence of the oxygen element, being consistent with the organic nature of cellulose, holocellulose and lignin of the jupati (Fig. 3). Inorganic elements were observed in significant amounts, such as Al, which may have contributed to the high ash content found in jupati (13.91 %). These inorganic elements were also found in the bean waste presented in the work of Miranda et al. (2022).

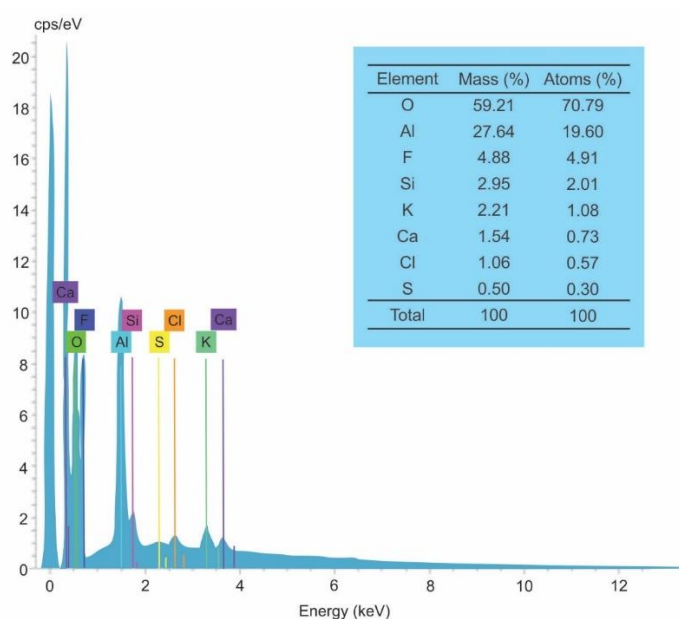


Fig. 3. EDS obtained from the lignocellulosic material.

Physical characterization of the composites

Apparent density

The density of the composites increased as the lignocellulosic material particles were added (Figure 4A). The observed increase was approximately 14.67 kg/m^3 for each 1% of jupati added. It was expected that there would be a reduction of density in the composites with the gradual inclusion of jupati since its density is lower than that reported for LDPE (912.00 to 925 kg/m^3 (COUTINHO; MELLO; DE SANTA MARIA, 2003).

Moreover, this trend is usually found in works such as that of Veloso et al. (2021) who, after incorporating cocoa waste in LDPE matrices, verified a density reduction in the order of 4.50 kg/m^3 for each 1% of material inserted in the composites and that of Talgatti et al. (2017) who, by including wood particles, observed a reduction of up to 28% in the density of polymer matrix composites.

However, it is known that the density of a material is changed when its mass or volume is modified. Thus, in addition to the influence of the density of the raw material used, authors also point out, as a factor of reduction of the values, the formation of pores from the composites and samples production process, also reporting that, when in high quantities, make the production unfeasible (Veloso et al., 2021; Mertens et al., 2017).

An effective way to avoid the formation of pores is to ensure the compaction of the material in the production process. In this sense, the molding of composites with high pressures is beneficial, because it causes considerable compaction in the material making it less porous (BENTHIEN; THOEMEN, 2012). The author also points out that the higher the temperatures in the pressing, better physical and mechanical properties will be obtained, however, these temperatures should not exceed $210 \text{ }^\circ\text{C}$ to avoid the degradation of the lignocellulosic material. This relationship between the pressing parameters and the material properties is mainly due to the structural quality of the composites surface because it will impact directly on the water absorption and consequently on the tensile strength, as it will be seen below.

Considering what was presented, the result found in the work is interesting because it allows assessing that the pressing process contributed by mitigating or even avoiding the formation of pores in the samples, resulting in a cohesive material, and not impacting in the density reduction. The absence of pores can also be checked considering that even the lowest density value found in the composites is higher than that observed in other studies, such as Veloso et al. (2021) where the values did not exceed 810 kg/m^3 .

The reduction or absence of pores generates benefits for the other properties of the material. This is because it is known that porosity is directly related to increased water absorption by capillarity, reduced stress transfers impairing mechanical strengths, among other negative effects (BENTHIEN; THOEMEN, 2012; MERTENS; GURR; KRAUSE, 2017; PEREIRA et al., 2019).

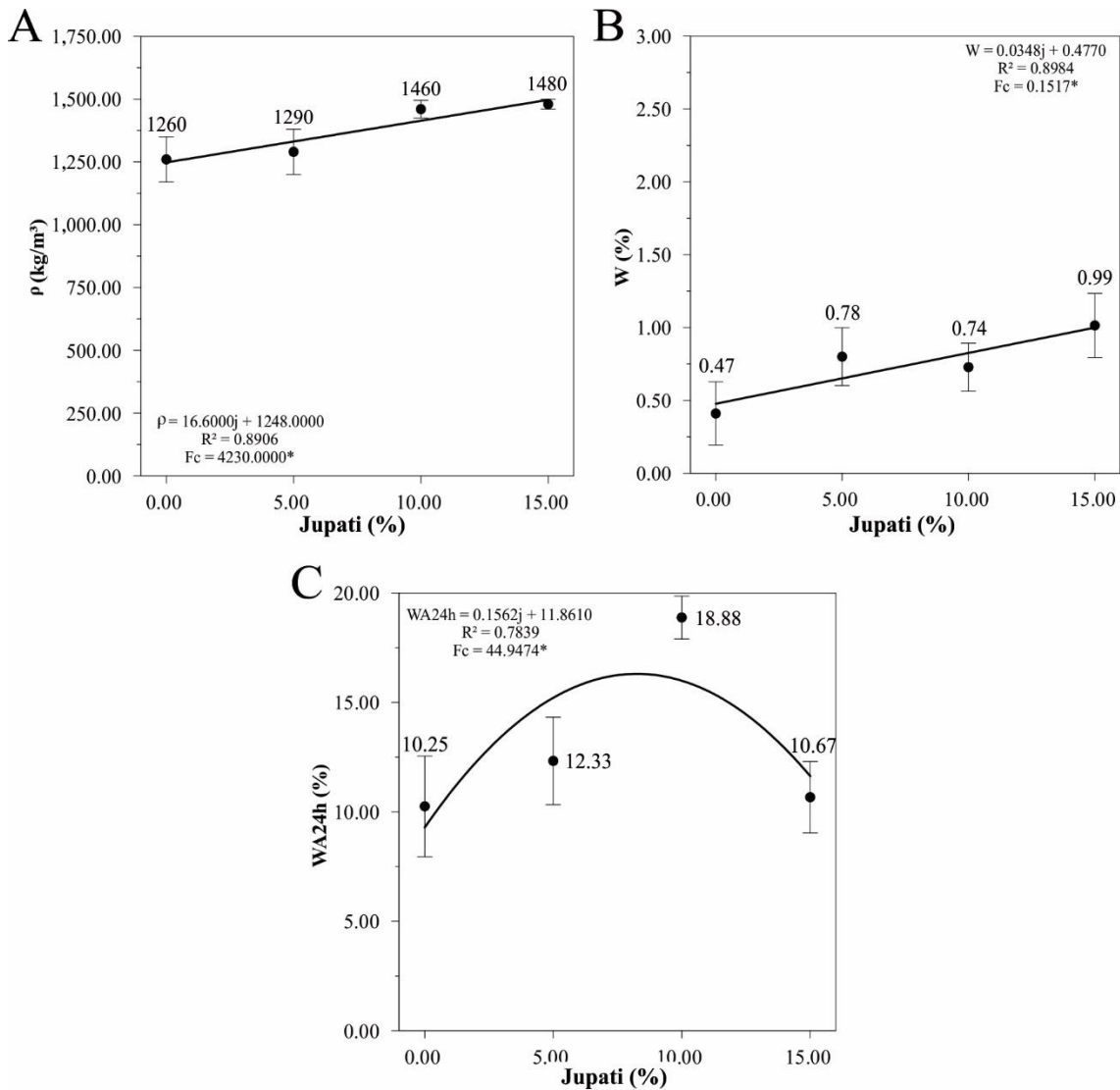


Fig. 4. Physical properties of composites produced: A) Apparent density, B) moisture and C) water absorption in 24 h of immersion. * = Significant regression analysis at 5 % significance.

Moisture and water absorption

The equilibrium moisture content between the relative humidity and room temperature of the composites varied as the lignocellulosic material was added, being increased in relation

to the treatment consisting of 100% polymer (Fig. 4B). This trend is like that found by Veloso et al. (2021), in which the moisture of the composites produced varied from 0.03 % in the LDPE reference sample to 2.68 % in the sample with 40 % cocoa waste.

The LDPE, as well as other plastic materials, according to the literature, is highly hydrophobic (GOMES et al., 2021). Thus, the variations of moisture present in the composites may be related to the greater affinity of the lignocellulosic material with water due to its chemical composition. Lignocellulosic materials are, in this context, hydrophilic due to the hydroxyl groups (OH) present in the holocellulose (Guimarães Júnior et al. (2016). However, although the moisture content of the composites present higher values with higher incorporations of jupati, it is observed that it is lower than the moisture found in the particles of the pre-processing material (5.28 %). This can be explained by the production process that, both in the extrusion of the material and in the molding of the samples, high temperatures were used, resulting in the decrease of moisture of the material.

In relation to the water absorption in 24 hours of immersion, there was an increase of 1.67% from the first to the last treatment (Fig. 4C). However, there was no linearity in relation to the increase in absorption with the inclusion of lignocellulosic material, and the treatment with 10% of jupati particles reached a significantly higher content than the others.

One of the points that can be pointed out to explain this phenomenon is the possible uneven distribution of the particles in the matrix at the time of extrusion, causing samples with varied compositions. Another factor, pointed out by Friedrich (2021) is that the amount of water absorbed by a polymeric composite with lignocellulosic elements will depend on the quality of its surface, if it is smooth or has voids, scratches, or porosity in general. According to the author, these defects in the surface propitiate the entrance of the water inside the composite, reaching the lignocellulosic material. Still, another aspect related to the composite surface is exposed by Boeglin et al. (1997) reporting that the polymer creates a hydrophobic protection layer in the material, providing also beneficial effects in the reduction of the swelling in thickness of the material.

In view of these aspects presented, it can be said that the variable response of the absorption found in the work can be explained by the possible differences in the arrangement of the particles in the samples and their surfaces, which were in contact with water. It is understood that, in most treatments, the polymer coated the samples, preventing the water from having direct contact with the lignocellulosic material particles. However, in the samples with high absorption, it can be inferred that either the lignocellulosic material was on the surface in direct contact with water or some defect in the surface facilitated the absorption of water.

Thus, it can be said that the differences related to water absorption along the treatments are more related to the sampling and the uneven dispersion of the jupati particles in the polymer matrix than the inclusion content itself. In any case, it can be concluded that the high hydrophobicity of the polymer acted as a protector against water absorption, but there was still the influence of the intrinsic hydrophilicity of the lignocellulosic material, given the variations found (FRIEDRICH, 2021).

Flammability

Assuring anti-flame protection is one of the ways to expand the range of uses of polymeric composites according to their composition. The damage of flammability with combustion caused by oxygen, by the polymer presenting hydrocarbons, is the decomposition of the matrix, formation of cracks and displacement of the particles when it is in contact with a temperature higher than ambient (KIM; DUTTA; BHATTACHARYYA, 2018).

The result of the flameproofing protection in polymer composites of these two materials combined is related to the time spent until they have their structures damaged by delamination and carbonization (DEMIR; BALKÖSE; ÜLKÜ, 2006; KIM; DUTTA; BHATTACHARYYA, 2018). In this regard, for LDPE_100, LDPE_95/JUP_5, LDPE_90/JUP_10 and LDPE_85/JUP_15 composites, the times to self-extinction of 405, 300, 211 and 294 seconds were observed, respectively.

As seen in the thermogravimetric analysis, when the burning of the composite occurred at a temperature of 100°C, there was a loss of water absorbed by the particles and by other impurities present in the lignocellulosic material (Tu et al., 2022). In the degradation period, the composites with higher percentages of jupati particles showed higher amount of dripping, higher degradation and consequently impacted the time to self-extinguish to fire. This may be associated with the amount of oxygen present in the material (Figure 3), meaning that such materials are more flammable than the polymer and therefore impair its flame spread resistance (UL-94, UL 1986; Tu et al. (2022).

However, it should be noted that all treatments showed equal classification by UL 94 (UL, 1986): H-B - Highly combustible. In this sense, it is concluded that the changes related to flammability were not significant to make the production of composites unfeasible, since alternatives are already used to solve this factor as the application of flame-retardant additives. As an example, aluminum hydroxide is an additive that acts in the formation of an endothermic

reaction, absorbing heat during the first periods of combustion and is also a smoke inhibiting agent, and can be used in the particles previously (ROCHA; MULINARI, 2011).

Mechanical characterization of the composites

Firstly, it is discussed that the MOE for virgin LDPE varies from 102 to 240 MPa, while the MOR of this material is reported with values between 6.9 and 16 MPa (COUTINHO; MELLO; DE SANTA MARIA, 2003). These values are consistent with those found for the first treatment, where only the recycled polymer was used, with emphasis on the MOR that was higher (Fig. 5A).

Regarding the composites, it was observed that for the MOR, the insertion of jupati impacted in its decrease, being of almost 8 MPa from the sample with 15 % material to the sample with 0 % (Fig. 5A). Lower values of tensile properties can be attributed to the weak interaction and poor dispersion of the particles in the matrix and to factors such as size, shape and type of the filler material (DAS et al., 2021; MACÊDO; E SOUZA; NETO, 2012).

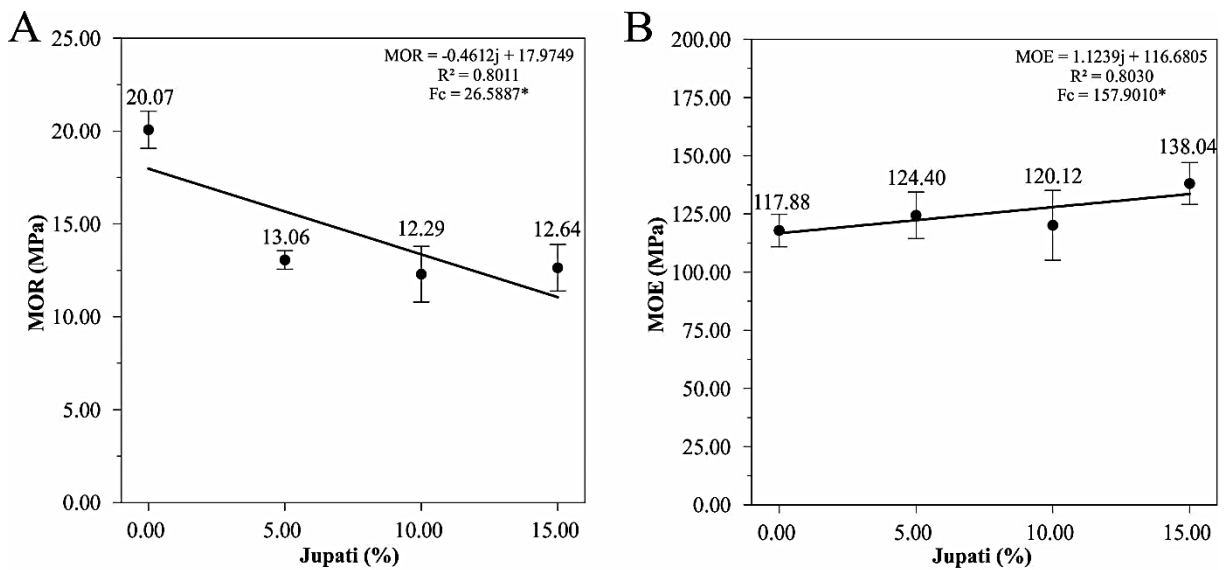


Fig. 5. Tensile test results of composites: (A) MOR and (B) MOE. * = Significant regression analysis at 5% significance.

The poor interaction between the particles and the matrix can be proven by observing the formation of voids in the samples after traction (Fig. 6B, 6C and 6D). These voids indicate

the places where the particles were before being pulled out in the test. A difference can be seen in Fig. 6A, where, without the presence of particles, the surface presents less deformation.

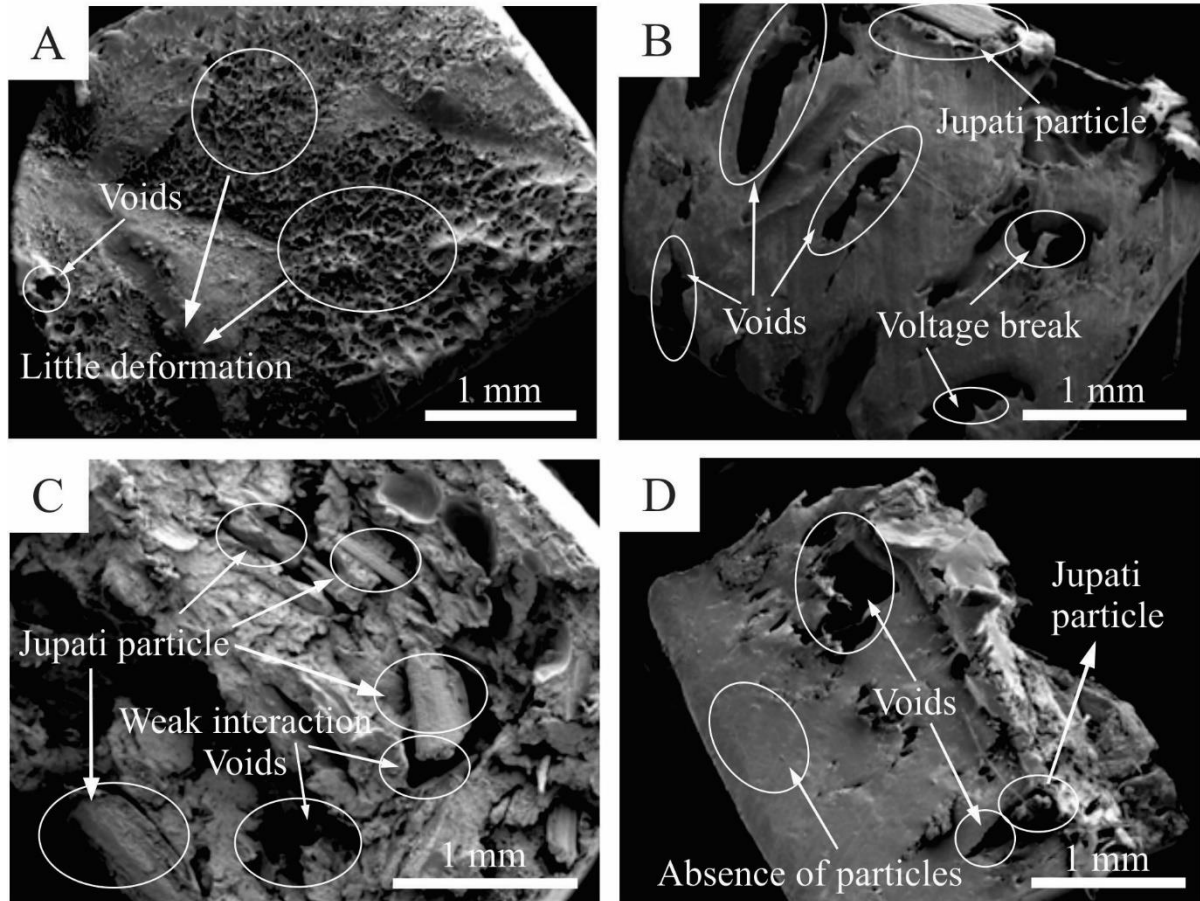


Fig. 6. SEM of composites: (A) 0% jupati, (B) 5% jupati, (C) 10% jupati and (D) 15% jupati

Therefore, it is understood that the interaction between the jupati particles and the polymer occurred only superficially, with no anchorage between the materials. This caused the creation of weak points in the interfaces between the raw materials, facilitating the rupture. This result indicates that the particles act as filler material and not as reinforcement for the matrix.

For the result of the MOE, it is observed that the insertion of jupati petiole led to an increase in the values, from 117 MPa to 138 MPa of the sample with 0% to 15% of lignocellulosic material (Fig. 5B). This result indicates that the inclusion of jupati particles caused an increase in the composites stiffness, reducing the elongation. It is noteworthy that the variations found between the treatments, both for the MOR and the MOE, can be attributed to the distribution of the particles in the samples, since the high volume of the lignocellulosic material hindered the flow and homogenization in the extrusion process. This heterogeneity in the particle distribution can also be measured in the SEM images where, in Fig. 6C a large

amount of particles was observed while in Fig. 6D parts constituted only by the polymer can be seen.

Nevertheless, results of reduction of the MOR and increase of the MOE are common for polymeric composites with inclusion of lignocellulosic materials. Veloso et al. (2021) for example, working with cocoa waste, found an increase in MOE from 158.42 MPa in the reference sample to 172.30 MPa in the sample with 40% of the waste. For the values of MOR, the authors found a significant decrease from 13.36 MPa in the reference sample to 3.47 MPa in the sample with higher content of lignocellulosic material.

Georgopoulos et al. (2005) also obtained increased values for the MOE with larger amounts of eucalyptus and corn cob particles in composites with LDPE (115 to 145 MPa and 110 to 150 MPa, respectively). Bhaskar et al. (2021) found a tensile strength of 1,253 MPa for composites reinforced with pine wood (in 40% content), lower values than with the maximum incorporation presented in this research.

To overcome negative results in the mechanical properties, some authors search alternatives to help the process of interaction and distribution of the particles or fibers with the matrix of the composite. Wolcott and Englund (1999) emphasize that the vegetable materials have polar nature, which difficult the interaction with the thermoplastics that, in turn, are non-polar. In this sense, the authors advise the use of additives and methods for activating the surface of the particles in order to promote better adhesion with the matrix. Benthien and Thoemen, (2012) confirm that compatibilizers, called coupling agents, significantly improve the properties of composites by obtaining a better bond between the polymer and the particles, making them hydrophobic.

Another possibility, which was studied by Oliveira et al. (2017), is the use of deaerating additive to reduce bubbles and defects from the production and molding process. The authors observed lower presence of voids and bubbles in composites of epoxy matrix with fiberglass and consequently a better performance in tensile tests. In addition, variables such as particle size, substitution content, distribution, and volume of the material in the matrix and pressing parameters are pointed out as influencing the strengths of the composites (BENTHIEN; THOEMEN, 2012; FRIEDRICH, 2021).

CONCLUSIONS

The objective of this study was to analyze the influence of the incorporation of different percentages of jupati particles in a recycled polymeric matrix. An interesting result

was observed with the increase of the composites density, contrary effect to that reported in the literature, indicating that there was good compaction and absence of pores in the samples. Furthermore, there was an increase in moisture and water absorption in 24 hours of immersion, factors related to the hydrophilic characteristic of biomass.

Regarding the mechanical properties, there was a reduction in strength and an increase in the modulus of elasticity. These results are attributed mainly to the weak interaction of the particles with the matrix, verified by the SEM images. There was an increase in the flammability of the composites compared to the 100% polymer treatment. However, all treatments fall into the same classification, and flame-retardant additives can be used to meet the standards of use.

In general, it can be said that the compaction process was efficient to avoid the formation of pores in the samples, which would be harmful to the physical and mechanical properties of the composites. However, the chemical characteristics of the jupati and the difficulty of guaranteeing the homogeneous distribution of the particles in the matrix were factors that caused significant interference in the results.

Following this line, future research is recommended to evaluate the effects of different granulometries of the lignocellulosic material and different temperatures and pressures in the composites production process to verify the influences on the physical and mechanical properties. Also, it is recommended to analyze the feasibility of using additives to optimize the results. Further in-depth characterization studies on the jupati petiole and on the resulting polymeric composite are also recommended.

APPENDICES

Treatments	LDPE (%)	Jupati (%)
LDPE_100	100	0
LDPE_95/JUP_5	95	5
LDPE_90/JUP_10	90	10
LDPE_85/JUP_15	85	15

Table 1. Compositions of the produced composites (mass/mass).

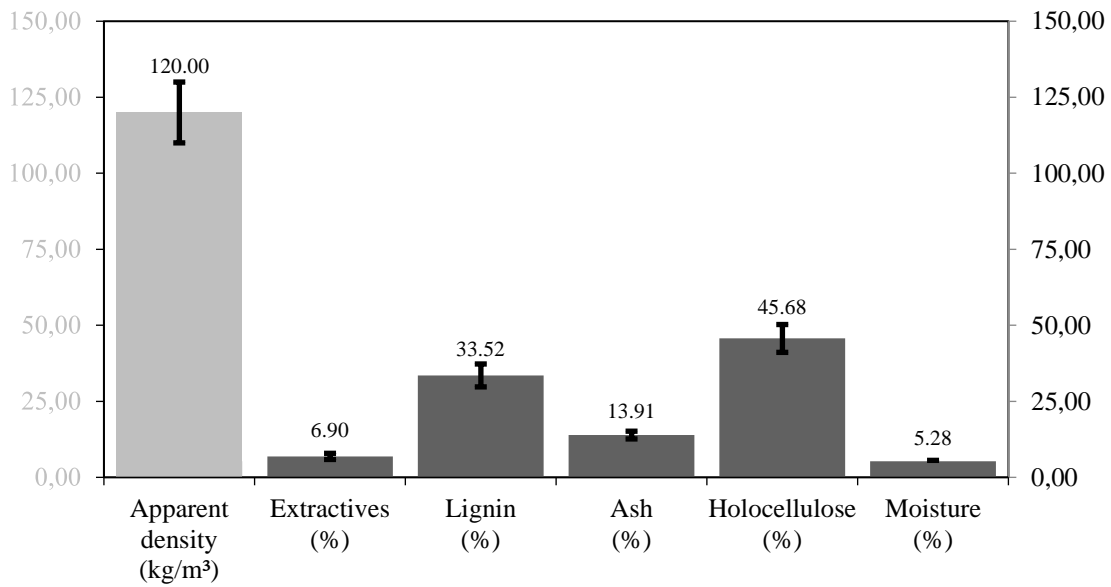


Figure. 1. Physical and chemical properties of jupati particles.

Treatments	Time to self-extinction (s)	Dripping	Classification UL 94
LDPE_100	405	Yes	H-B
LDPE_95/JUP_5	300	Yes	H-B
LDPE_90/JUP_10	211	Yes	H-B
LDPE_85/JUP_15	294	Yes	H-B

Table 2. Results of the flammability test of the composites produced.

ACKNOWLEDGEMENTS

Special thanks to the financial support of the research funding agencies, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPQ) and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERENCES

- ABNT NBR 11941 NBR11941 Madeira - Determinação da densidade básica.** , [s.d.]. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/2789/abnt-nbr11941-madeira-determinacao-da-densidade-basica>.
- ABNT NBR 13999 NBR13999 Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira.** , [s.d.]. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/37977/nbr13999-papel-cartao-pastas-celulosicas-e-madeira-determinacao-do-residuo-cinza-apos-a-incineracao-a-525-c>.
- ABNT NBR 14810-2 NBR14810-2 Painéis de partículas de média densidade.** , [s.d.]. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/38215/nbr14810-2-paineis-de-particulas-de-media-densidade-parte-2-requisitos-e-metodos-de-ensaio>.
- ABNT NBR 7989 NBR7989 Pasta celulósica e madeira - Determinação de.** , [s.d.]. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/38176/nbr7989-pasta-celulosica-e-madeira-determinacao-de-lignina-insolovel-em-acido>.
- ACCHAR, W.; DULTRA, E. J. V.; SEGADÃES, A. M. Untreated coffee husk ashes used as flux in ceramic tiles. **Applied Clay Science**, [S. l.], 2013. DOI: 10.1016/j.clay.2013.03.009.
- ACUÑA-PIZANO, H.; GONZÁLEZ-TREVIZO, M. E.; LUNA-LEÓN, A.; MARTÍNEZ-TORRES, K. E.; FERNÁNDEZ-MELCHOR, F. Plastic composites as sustainable building materials: A thermal and mechanical exploration. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 344, p. 128083, 2022. DOI: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128083.
- American Society for Testing and Materials. ASTM D570-98: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics (2018). [S. l.], [s.d.].
- American Society for Testing and Materials (2002) ASTM D638-01: standard test method for tensile properties of plastics. West Conshohocken. [S. l.], [s.d.].
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14853: Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno, em diclorometano e em acetona (2010). [S. l.], [s.d.].
- AYRILMIS, Nadir; KWON, Jin Heon; HAN, Tae Hyung. Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, [S. l.], v. 38, p. 79–83, 2012. DOI: 10.1016/J.IJADHADH.2012.04.008.
- AZADEH, A.; GHAVAMI, K. The influence of heat on shrinkage and water absorption of *Dendrocalamus giganteus* bamboo as a functionally graded material. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 186, p. 145–154, 2018. DOI: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.07.011.
- BARBOSA, Andrezza De Melo; REBELO, Viviane Siqueira Magalhães; MARTORANO, Lucieta Guerreiro; GIACON, Virginia Mansanares. Caracterização de partículas de açaí visando seu potencial uso na construção civil. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S. l.], v. 24, n. 3, 2019. DOI: 10.1590/S1517-707620190003.0750. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rmat/a/gXWgf5vhc7Y6fqWNj7W9dwQ/abstract/?lang=pt>.
- BASTOS, Rafael Roberto Cardoso; DA LUZ CORRÊA, Ana Paula; DA LUZ, Patrícia Teresa Souza; DA ROCHA FILHO, Geraldo Narciso; ZAMIAN, José Roberto; DA CONCEIÇÃO,

Leyvison Rafael Vieira. Optimization of biodiesel production using sulfonated carbon-based catalyst from an amazon agro-industrial waste. **Energy Conversion and Management**, [S. l.], v. 205, p. 112457, 2020. DOI: 10.1016/J.ENCONMAN.2019.112457.

BEKHTA, Pavlo; NOSHCHENKO, Gregory; RÉH, Roman; KRISTAK, Lubos; SEDLIAČIK, Ján; ANTOV, Petar; MIRSKI, Radosław; SAVOV, Viktor. Properties of Eco-Friendly Particleboards Bonded with Lignosulfonate-Urea-Formaldehyde Adhesives and pMDI as a Crosslinker. **Materials** **2021**, Vol. **14**, Page **4875**, [S. l.], v. 14, n. 17, p. 4875, 2021. DOI: 10.3390/MA14174875.

BENTHIEN, Jan T.; THOEMEN, Heiko. Effects of raw materials and process parameters on the physical and mechanical properties of flat pressed WPC panels. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, [S. l.], v. 43, n. 4, p. 570–576, 2012. DOI: 10.1016/J.COMPOSITESA.2011.12.028.

BHASKAR, K.; JAYABALAKRISHNAN, D.; KUMAR, M. Vinoth; SENDILVELAN, S.; PRABHAHAR, M. Analysis on mechanical properties of wood plastic composite. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], v. 45, p. 5886–5891, 2021. DOI: 10.1016/J.MATPR.2020.08.570.

BOEGLIN, N.; BOEGLIN, N.; TRIBOULOT, P.; MASSON, D. A feasibility study on boards from wood and plastic waste: bending properties, dimensional stability and recycling of the board. **EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS**, [S. l.], n. VOL 55NRO 1, 1997.

BORGES, Ianca Oliveira; DE NOVAIS MIRANDA, Eduardo Hélio; BRITO, Flávia Maria Silva; DA SILVA ALTAFIN, Nayara Cristina; MENDES, Lourival Marin; JÚNIOR, Jose Benedito Guimarães. Potential for use of waste from soybean culture treated with water and sodium hydroxide for production of agglomerated panels. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. e29511225762–e29511225762, 2022. DOI: 10.33448/RSD-V11I2.25762. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25762>.

CHAUDEMANCHE, Samuel; PERROT, Arnaud; PIMBERT, Sylvie; LECOMPTE, Thibaut; FAURE, Florent. Properties of an industrial extruded HDPE-WPC The effect of the size distribution of wood flour particles. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 162, p. 543–552, 2018. DOI: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.12.061. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02069286>.

COLETTI, F.; ROMANI, M.; CERES, G.; ZAMMIT, U.; GUIDI, M. Cestelli. Evaluation of microscopy techniques and ATR-FTIR spectroscopy on textile fibers from the Vesuvian area: A pilot study on degradation processes that prevent the characterization of bast fibers. **Journal of Archaeological Science: Reports**, [S. l.], v. 36, 2021. DOI: 10.1016/J.JASREP.2021.102794.

CONCEIÃO, Leyvison Rafael V. Da; COSTA, Carlos E. F. Da; FILHO, Geraldo N. Da Rocha; ZAMIAN, José R. Obtaining and characterization of biodiesel from jupati (*Raphia taedigera* Mart.) oil. **Fuel**, [S. l.], v. 90, n. 9, p. 2945–2949, 2011. DOI: 10.1016/J.FUEL.2011.04.019.

CORRESPONDENTE, Autor; JUNIOR, José Benedito Guimarães; XAVIER, Michele Mantelli; SANTOS, Thamara Silva; DE PAULA PROTÁSIO, Thiago; MENDES, Rafael Farinassi; MENDES, Lourival Marin. Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 36, n. 88, p. 435–442, 2016. DOI: 10.4336/2016.pfb.36.88.1036. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1036>.

COUTINHO, Fernanda M. B.; MELLO, Ivana L.; DE SANTA MARIA, Luiz C. Polyethylene: main types, properties and applications. **Polímeros**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 1–13, 2003. DOI: 10.1590/S0104-14282003000100005. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=pt.

DARGIE, G. C.; LEWIS, S. L.; LAWSON, I. T.; MITCHARD, E. T. A.; PAGE, S. E.; BOCKO, Y. E.; IFO, S. A. Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex. [S. l.], 2017. DOI: 10.1038/nature21048. Disponível em: <http://eprints.whiterose.ac.uk/111018/>.

DAS, Subrata Chandra; ASHEK-E-KHODA, Sheikh; SAYEED, Md Abu; SURUZZAMAN; PAUL, Debasree; DHAR, Sajib Aninda; GRAMMATIKOS, Sotirios A. On the use of wood charcoal filler to improve the properties of natural fiber reinforced polymer composites. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], v. 44, p. 926–929, 2021. DOI: 10.1016/J.MATPR.2020.10.808.

DE ARAÚJO VELOSO, Maria Cecília Ramos; LOPES, Francielle Mariane; FURTINI, Ana Carolina Corrêa; DA SILVA, Marcela Gomes; MENDES, Lourival Marin; GUIMARÃES, José Benedito. Low-density particleboard properties produced with jupati particles and eucalyptus wood. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 15, n. 4, 2020. DOI: 10.5039/AGRARIA.V15I4A8414.

DE ARAÚJO VELOSO, Maria Cecília Ramos; SCATOLINO, Mário Vanoli; GONÇALVES, Maria Margarida Boavida Pontes; VALLE, Mara Lúcia Agostini; DE PAULA PROTÁSIO, Thiago; MENDES, Lourival Marin; JUNIOR, José Benedito Guimarães. Sustainable valorization of recycled low-density polyethylene and cocoa biomass for composite production. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 28, n. 25, p. 32810–32822, 2021. DOI: 10.1007/S11356-021-13061-Y/FIGURES/6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13061-y>.

DE BARROS FILHO, Roberto Monteiro; MENDES, Lourival Marin; NOVACK, Kátia Monteiro; APRELINI, Leonardo Oliveira; BOTARO, Vagner Roberto. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 369–373, 2011. DOI: 10.1016/J.INDCROP.2010.11.007.

DE NOVAIS MIRANDA, Eduardo Hélio; GOMES, Diogo Antonio Correa; RESENDE, Gustavo Monteiro Costa Sbampato; GUIMARÃES, Túlio Caetano; MENDES, Lourival Marin; JÚNIOR, José Benedito Guimarães. Evaluation of the influence of the addition of bean residue in gypsum matrices. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [S. l.], v. 1, p. 1–11, 2022. DOI: 10.1007/S10098-022-02389-9/FIGURES/8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-022-02389-9>.

DE SOUZA CONCEIÇÃO, Lucas; DE VASCONCELOS FERRAZ, Andréa; PEREIRA RAMOS, Rodrigo; BÁRBARA DE SOUZA SILVA, Yasmin; DOS SANTOS COSTA, Daniel. Application of bromocresol purple dye for plaster drying time determination. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 278, p. 122378, 2021. DOI: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122378.

DEMIR, H.; BALKÖSE, D.; ÜLKÜ, S. Influence of surface modification of fillers and polymer on flammability and tensile behaviour of polypropylene-composites. **Polymer Degradation and Stability**, [S. l.], v. 91, n. 5, p. 1079–1085, 2006. DOI: 10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2005.07.012.

DOMÍNGUEZ, María T.; MADEJÓN, Paula; MADEJÓN, Engracia; DIAZ, Manuel J. Novel energy crops for Mediterranean contaminated lands: Valorization of *Dittrichia viscosa* and *Silybum marianum* biomass by pyrolysis. **Chemosphere**, [S. l.], v. 186, p. 968–976, 2017. DOI: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2017.08.063.

DOS SANTOS, Carolina Aparecida; FURTINI, Ana Carolina Corrêa; VILLARRUEL, Denisse Concepción Vega; DE NOVAIS MIRANDA, Eduardo Hélio; GOMES, Diogo Antonio Correa; MENDES, Lourival Marin; JÚNIOR, José Benedito Guimarães. Use of *Pinus oocarpa* and *Coffea arabica* wood for the production of oriented particle board (OSB). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. e40611326795–e40611326795, 2022. DOI: 10.33448/RSD-V11I3.26795. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26795>.

FRIEDRICH, Daniel. Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique. **Composite Structures**, [S. l.], v. 262, p. 113649, 2021. DOI: 10.1016/J.COMPSTRUCT.2021.113649.

FURTINI, Ana Carolina Corrêa; DOS SANTOS, Carolina Aparecida; GARCIA, Hudson Venâncio Silva; BRITO, Flávia Maria Silva; DOS SANTOS, Thalita Paula; MENDES, Lourival Marin; JÚNIOR, José Benedito Guimarães. The Performance of cross laminated timber panels made of *Pinus oocarpa* and *Coffea arabica* waste. **Coffee Science - ISSN 1984-3909**, [S. l.], v. 16, p. e161854–e161854, 2021. DOI: 10.25186/V16I1.1854.

GARCÍA-GARCÍA, D.; CARBONELL, A.; SAMPER, M. D.; GARCÍA-SANOQUERA, D.; BALART, R. Green composites based on polypropylene matrix and hydrophobized spend coffee ground (SCG) powder. **Composites Part B: Engineering**, [S. l.], v. 78, p. 256–265, 2015. DOI: 10.1016/J.COMPOSITESB.2015.03.080.

GEORGOPOULOS, S. Th; TARANTILI, P. A.; AVGERINOS, E.; ANDREOPOULOS, A. G.; KOUKIOS, E. G. Thermoplastic polymers reinforced with fibrous agricultural residues. **Polymer Degradation and Stability**, [S. l.], v. 90, n. 2, p. 303–312, 2005. DOI: 10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2005.02.020.

GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, [S. l.], v. 3, n. 7, 2017. DOI: 10.1126/SCIADV.1700782/SUPPL_FILE/1700782_SM.PDF.

GOMES, Diogo Antonio Correa; DE NOVAIS MIRANDA, Eduardo Hélio; FURTINI, Ana Carolina Corrêa; DOS SANTOS, Carolina Aparecida; RESENDE, Mariane Duarte; VILLARRUEL, Denisse Concepción Vega; JÚNIOR, José Benedito Guimarães. VIABILITY OF POLYPROPYLENE POLYMER COMPOUNDS REINFORCED WITH BAMBOO FIBER. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 511–522, 2021. a. DOI: 10.18011/BIOENG2021V15N4P511-522. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/1037>.

GOMES, Diogo Antonio Correa; DE NOVAIS MIRANDA, Eduardo Hélio; RESENDE, Fernanda Carolina; VILLARRUEL, Denisse Concepción Vega; MENDES, Lourival Marin; JÚNIOR, José Benedito Guimarães. Analysis of the influence of wheat residues on gypsum composites. **Innovative Infrastructure Solutions** 2022 8:1, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 1–10, 2022. DOI: 10.1007/S41062-022-01007-3. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41062-022-01007-3>.

GOMES, Diogo Antonio Correa; HÉLIO NOVAIS MIRANDA, Eduardo; CAROLINA CORRÊA FURTINI, Ana; APARECIDA DOS SANTOS, Carolina; DUARTE RESENDE,

Mariane; CONCEPCIÓN VEGA VILLARRUEL, Denisse; BENEDITO GUIMARÃES JÚNIOR, José. Viabilidade De Compósitos Poliméricos De Polipropileno Reforçados Com Fibra De Bambu. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 511–522, 2021. b. DOI: 10.18011/bioeng2021v15n4p511-522.

GRAUPNER, Nina; FISCHER, Holger; ZIEGMANN, Gerhard; MÜSSIG, Jörg. Improvement and analysis of fibre/matrix adhesion of regenerated cellulose fibre reinforced PP-, MAPP- and PLA-composites by the use of Eucalyptus globulus lignin. **Composites Part B: Engineering**, [S. l.], v. 66, p. 117–125, 2014. DOI: 10.1016/J.COMPOSITESB.2014.05.002.

HÉLIO DE NOVAIS MIRANDA, Eduardo; ANTONIO CORREA GOMES, Diogo; MONTEIRO COSTA SBAMPATO RESENDE, Gustavo; CAETANO GUIMARÃES, Túlio; MARIN MENDES, Lourival; BENEDITO GUIMARÃES JÚNIOR, José; DE NOVAIS MIRANDA, E. H. Evaluation of the influence of the addition of bean residue in gypsum matrices. **Clean Technologies and Environmental Policy 2022**, [S. l.], v. 1, p. 1–11, 2022. DOI: 10.1007/S10098-022-02389-9.

HELMSTETTER, Andrew J. et al. Unraveling the Phylogenomic Relationships of the Most Diverse African Palm Genus *Raphia* (Calamoideae, Arecaceae). **Plants 2020**, Vol. 9, Page 549, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 549, 2020. DOI: 10.3390/PLANTS9040549. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/9/4/549/htm>.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1985. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. IPT. São Paulo, Brasil. [S. l.], [s.d.].

INTRODUÇÃO 4 AS FLORESTAS DO BRASIL E A BASE DE DADOS GEOGRÁFICOS DE FLORESTAS DO SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO 29 BIOECONOMIA DA FLORESTA-WEBINÁRIOS SOBRE AS CADEIAS DA SOCIOBIODIVERSIDADE (2020) 47 COMÉRCIO EXTERIOR DE PRODUTOS FLORESTAIS. [S. l.], [s.d.].

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. **Painéis de madeira reconstituída**. [s.l.] : Ajir Gráfica e Editora Ltda., 2020.

JORDAN, William; CHESTER, Patrick. Improving the Properties of Banana Fiber Reinforced Polymeric Composites by Treating the Fibers. **Procedia Engineering**, [S. l.], v. 200, p. 283–289, 2017. DOI: 10.1016/J.PROENG.2017.07.040.

KAZA, Silpa; YAO, Lisa C.; BHADA-TATA, Perinaz; WOERDEN, Frank Van. What a Waste 2.0. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**, [S. l.], 2018. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.

KAZEMI, Mohammadjavad; FINI, Elham H. State of the art in the application of functionalized waste polymers in the built environment. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 177, p. 105967, 2022. DOI: 10.1016/J.RESCONREC.2021.105967.

KIM, N. K.; DUTTA, S.; BHATTACHARYYA, D. A review of flammability of natural fibre reinforced polymeric composites. **Composites Science and Technology**, [S. l.], v. 162, p. 64–78, 2018. DOI: 10.1016/J.COMPSCITECH.2018.04.016.

KUQO, Aldi; MAI, Carsten. Mechanical properties of lightweight gypsum composites comprised of seagrass *Posidonia oceanica* and pine (*Pinus sylvestris*) wood fibers. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 282, p. 122714, 2021. DOI: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122714.

LEI, Zhihui; WANG, Shengdan; FU, Haocheng; GAO, Wenhua; WANG, Bin; ZENG, Jinsong; XU, Jun. Thermal pyrolysis characteristics and kinetics of hemicellulose isolated from *Camellia Oleifera* Shell. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 282, p. 228–235, 2019. DOI: 10.1016/J.BIORTECH.2019.02.131.

MACÊDO, Alcebíades Negrão; E SOUZA, Alberto Alexandre Costa; NETO, Bernardo Borges Pompeu. Chapas de cimento-madeira com resíduos da indústria madeireira da Região Amazônica. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 131–150, 2012. DOI: 10.1590/S1678-86212012000200009. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/ac/a/34H7rT9T4R9xZcn87nQbWbt/abstract/?lang=pt>.

MERTENS, Oliver; GURR, Julius; KRAUSE, Andreas. The utilization of thermomechanical pulp fibers in WPC: A review. **Journal of Applied Polymer Science**, [S. l.], v. 134, n. 31, p. 45161, 2017. DOI: 10.1002/APP.45161. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.45161>.

NAJAFI, Saeed Kazemi. Use of recycled plastics in wood plastic composites – A review. **Waste Management**, [S. l.], v. 33, n. 9, p. 1898–1905, 2013. DOI: 10.1016/J.WASMAN.2013.05.017.

NARCISO, C. R. P.; REIS, A. H. S.; MENDES, J. F.; NOGUEIRA, N. D.; MENDES, R. F. Potential for the Use of Coconut Husk in the Production of Medium Density Particleboard. **Waste and Biomass Valorization**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 1647–1658, 2021. DOI: 10.1007/s12649-020-01099-x.

OLIVEIRA, Hugo De; YOON, Bumyong; MICHAUD, Véronique; NAM, Jae Do; SUHR, Jonghwan. All natural cork composites with suberin-based polyester and lignocellulosic residue. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 109, p. 843–849, 2017. DOI: 10.1016/J.INDCROP.2017.09.044.

PEREIRA, Tamires Galvão Tavares; MENDES, Juliana Farinassi; OLIVEIRA, Juliano Elvis; MARCONCINI, José Manoel; MENDES, Rafael Farinassi. Effect of reinforcement percentage of eucalyptus fibers on physico-mechanical properties of composite hand lay-up with polyester thermosetting matrix. **Journal of Natural Fibers**, [S. l.], v. 16, n. 6, p. 806–816, 2019. DOI: 10.1080/15440478.2018.1439426.

ROCHA, George J. M.; MULINARI, Daniella Regina. Modificação das fibras de celulose provenientes do bagaço de cana-de-açúcar com hidróxido de alumínio. **Cadernos UniFOA**, [S. l.], v. 6, n. 1esp, p. 11–18, 2011. DOI: 10.47385/CADUNIFOA.V6.N1ESP.1125.

SAI REVANTH, J.; SAI MADHAV, V.; KALYAN SAI, Y.; VINEETH KRISHNA, D.; SRIVIDYA, K.; MOHAN SUMANTH, C. H. TGA and DSC analysis of vinyl ester reinforced by *Vetiveria zizanioides*, jute and glass fiber. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], v. 26, p. 460–465, 2020. DOI: 10.1016/J.MATPR.2019.12.082.

SANTOS, Pedro; SOUSA, Laura; GODINHO, Luís; CORREIA, João R.; DIAS, A. M. P. G. Acoustic and thermal behaviour of cross-insulated timber panels. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 44, p. 103309, 2021. DOI: 10.1016/J.JOBE.2021.103309.

SCATOLINO, Mário Vanoli; DE OLIVEIRA COSTA, Andrey; GUIMARÃES, José Benedito; DE PAULA PROTÁSIO, Thiago; MENDES, Rafael Farinassi; MENDES, Lourival Marin. Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: Physical and mechanical properties. **Ciência e Agrotecnologia**, [S. l.], v. 41, n. 2, p. 139–146, 2017. DOI: 10.1590/1413-70542017412038616. Disponível em:

<http://www.scielo.br/j/cagro/a/TTFtZGzkQgcTWLkRFfkXygt/?lang=en>.

SCATOLINO, Mário Vanoli; SILVA, Danilo Wisky; MENDES, Rafael Farinassi; MENDES, Lourival Marin. Use of maize cob for production of particleboard. **Ciência e Agrotecnologia**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 330–337, 2013. DOI: 10.1590/S1413-70542013000400006. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/cagro/a/DGgphWJCXw9X9Wj9XJZCJmK/?lang=en>.

SOARES, Suzane; SOARES, Suzane Sarno; JÚNIOR, José Benedito Guimarães; MENDES, Lourival Marin; MENDES, Rafael Farinass; DE PAULA PROTÁSIO, Thiago; LISBOA, Fernando Noraga. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 64–73, 2017. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v8n2p64-73. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/10589>.

STAUFFER, Fred W.; OUATTARA, Doudjo N.; ROGUET, Didier; DA GIAU, Simona; MICHON, Loïc; BAKAYOKO, Adama; EKPE, Patrick. An update to the African palms (Arecaceae) floristic and taxonomic knowledge, with emphasis on the West African region. **Webbia**, [S. l.], v. 72, n. 1, p. 17–30, 2017. DOI: 10.1080/00837792.2017.1313381.

TALGATTI, Maiara; BALDIN, Talita; SILVEIRA, Aamanda Grassmann Da; SANTINI, Elio José; VIDRANO, Bibiana Regina Argenta. Compósito madeira-plástico a partir de resíduos de três espécies florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 37, n. 91, p. 277–283, 2017. DOI: 10.4336/2017.pfb.37.91.1385.

TU, Haifeng; LI, Linge; HU, Yuzhen; ZHANG, Yongyi; WANG, Yongjiang; HUANG, Wei; REN, Zhiqiang; LIN, Hongzhen; LIU, Meinan. Non-flammable liquid polymer-in-salt electrolyte enabling secure and dendrite-free lithium metal battery. **Chemical Engineering Journal**, [S. l.], v. 434, p. 134647, DOI: 10.1016/J.CEJ.2022.134647.

UL-94: Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Applications. [Includes ASTM D635-98 (UL-94 HB)]. [S. l.], [s.d.].

VÄISÄNEN, Taneli; HAAPALA, Antti; LAPPALAINEN, Reijo; TOMPPONEN, Laura. Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review. **Waste Management**, [S. l.], v. 54, p. 62–73, 2016. DOI: 10.1016/J.WASMAN.2016.04.037.

VALKENBURG, J. L. C. ...; SUNDERLAND, T. C. H.; COUVREUR, T. L. P. Uma revisão do gênero *Sclerosperma* (Arecaceae) em JSTOR. **KEW BULLETIN**, [S. l.], v. 63, p. 75–86, 2008. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20443410>.

WOLCOTT, Michael P.; ENGLUND, Karl. A technology review of wood-plastic composites Ethyl cellulose biomaterials View project Northwest Advanced Renewables Alliance (NARA) View project. [S. l.], [s.d.].

ZIMMERMANN, Matheus V. G.; ZATTERA, Ademir J. Recycling and reuse of waste from electricity distribution networks as reinforcement agents in polymeric composites. **Waste Management**, [S. l.], v. 33, n. 7, p. 1667–1674, 2013. DOI: 10.1016/J.WASMAN.2013.04.002.

TRANSLATION STATEMENT

Dear editor and reviewers,

In reference to the research paper VALORIZATION OF RECYCLED LOW-DENSITY POLYETHYLENE AND BIOMASS FROM THE AMAZONIAN PALM TREE THROUGH THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS, I certify that the topics: title, abstract, authors qualifications and article, have been translated by a professional English. The article was reviewed for syntax errors, grammatical concordance, and content integrity. The corresponding author Diogo Antonio Correa Gomes has been furnished a final version of this document constituting correct English usage, which conform to the topic of interest.

Montes Claros (MG), October 27, 2022.

Sincerely,



Gunter Max Gonçalves Oliveira.

Graduated in English Letters at Leonardo Da Vinci University – Brazil
Graduated at the post advanced level C2 -Wizard by Pearson languageschool