



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS ESTRUTURAIS COM FIBRA
NATURAL DE RÁFIA COM PROPRIEDADES TERMOACÚSTICAS**

JEAN DE DIEU BRIAND MINSONGUI MVEH

ENGENHEIRO MECÂNICO

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

**TESE PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM ENGENHARIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Porto Alegre

Março, 2016



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS ESTRUTURAIS COM FIBRA NATURAL DE RÁFIA COM PROPRIEDADES TERMOACÚSTICAS

JEAN DE DIEU BRIAND MINSONGUI MVEH

ENGENHEIRO MECÂNICO

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

ORIENTADOR: Profa. Dra. ROSANE ANGELICA LIGABUE

COORIENTADOR: Profa. Dra. SANDRA MARA OLIVEIRA EINLOFT

Tese realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

**Porto Alegre
Março, 2016**



DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS ESTRUTURAIS COM FIBRA NATURAL DE RÁFIA COM PROPRIEDADES TERMOACÚSTICAS

CANDIDATO: JEAN DE DIEU BRIAND MINSONGUI MVEH

Esta Tese de Doutorado foi julgada para obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

DRA. ROSANE ANGÉLICA LIGABUE - ORIENTADORA

DRA. SANDRA MARA OLIVEIRA EINLOFT - CO-ORIENTADORA

BANCA EXAMINADORA

DRA. RUTH MARLENE CAMPOMANES SANTANA - DO PPG3M - UFRGS

**DRA. VANUSCA DALOSTO JAHNO - DO PÓS GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE
MATERIAIS - UNIVERSIDADE FEEVALE**

DR. MARCUS SEFERIN - DO PGETEMA/FENG - PUCRS

Produção científica/técnica gerada desta tese:

1. MVEH, Jean de Dieu Briand Minsongui; **LIGABUE**, R.; **EINLOFT**, S. Compósitos laminados e compósitos micronizados de Ráphia Hookeri e painéis estrutural do mesmo. 2015. Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do processo: BR 10 2015 025372 9 data de depósito: 05 de Outubro de 2015, título: "**Compósitos Laminados e Compósitos Micronizado de Ráphia Hookeri e Painéis Estrutural do mesmo**". Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

2. Caracterização da Fibra natural de Ráphia Hookeri. MVEH, J. D. B. M.; LIGABUE, R.; EINLOFT, S. Em etapa de preparação para submissão no primeiro semestre de 2016.

*O que ama a correção ama o conhecimento, mas o que aborrece a repreensão é um bruto.
(Salomão, Rei).*

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao meu irmão Minsongui Mbezele Pierre Izacard, minha Irmã Minsongui Mbono Marguerite Gisèle e a minha querida mãe Obama Bolo Marie Thérèse Minsongui, todos “*in memoriam*”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus por tudo que eu consegui realizar nesse trabalho.

Especialmente a meu pai Minsongui Hubert e meu irmão Minsongui Obama Paul Aimé pela motivação, a meu tio-irmão Mvé Luc pelo monitoramento do plantio das palmeiras de ráfia, pelo corte e secagem das fibras naturais, Minsongui Hubert Pascal e Mbia Rigobert pelo corte e transporte das fibras naturais de ráfia.

Particularmente a minha esposa Justine Marie Belinga Minsongui e meus filhos Mveh Viviane Jeane de Dieu, Biloa Mveh Luciana e Jean de Dieu Minsongui Mveh Júnior pelo apoio e companheirismo durante todas as atividades envolvendo a pesquisa.

Minhas orientadoras Dra. Rosane Angelica Ligabue e Dra. Sandra Mara Oliveira Einloft pela confiança, por terem aceitado orientar esse trabalho, pela dedicação e pelos ensinamentos que me oportunizaram durante o andamento do mesmo.

Aos professores Dra. Eliani Maria da Costa e Dr. Carlos Alexandre pela motivação.

A todos os colegas de laboratório da FAQUI pelo auxílio na manipulação e uso dos equipamentos, aos funcionários da secretaria do PGETEMA e do Almoxarifado da FAQUI por todo apoio.

Empresas Marcopolo SA, principalmente os funcionários Elton do laboratório de qualificação e Lucas Comerlato da engenharia; TANAC SA, principalmente o funcionário Anderson, pela disponibilidade de seus espaços, materiais e equipamentos para a fabricação dos corpos de provas e realização dos ensaios.

SUMÁRIO

PRODUÇÃO CIENTÍFICA/TÉCNICA GERADA DESTA TESE.....	4
DEDICATÓRIA	6
AGRADECIMENTOS.....	7
SUMÁRIO	8
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS.....	14
LISTA DE QUADROS	16
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	17
RESUMO.....	19
ABSTRACT.....	20
1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS	24
2.1. Objetivos Específicos	24
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1. Fibras.....	25
3.1.1. Fibras Naturais	26
3.1.2. Principais Componentes das Fibras Vegetais.....	27
3.1.2.1. Celulose	28
3.1.2.2. Hemicelulose	28
3.1.2.3. Lignina	29
3.1.3. Fibra Ráfia	30
3.2. Materiais Compósitos	33
3.3. Processamento dos compósitos	35
3.3.1. Compósito com Fibras Naturais	37
3.3.2. Compósitos Estruturais	38
3.3.2.1. Painéis Sanduíche	38
3.3.2.2. Compósitos Laminares	42
3.3.2.3. Compósitos OSB	42

3.3.2.4. Compósitos MDP	43
3.3.2.5. Compósitos MDF	43
3.3.3. Compósitos híbridos	44
3.3.4. Principais componentes de compósitos estruturais	44
3.4. Degradação térmica das fibras naturais	49
3.5. Inflamabilidade	50
3.6. Coeficiente de Absorção Sonora	50
4. MATERIAIS E MÉTODOS	52
4.1. Materiais	53
4.2. Métodos	55
4.2.1. Análise morfológica e composicional da fibra natural de rafia	55
4.2.2. Degradação térmica da fibra natural de rafia	58
4.2.3. Inflamabilidade da fibra natural de rafia	58
4.2.4. Avaliação da massa específica, absorção de água e teor de umidade da fibra natural de rafia	59
4.2.4.1. Absorção de água da fibra natural de rafia e dos compósitos estruturais	59
4.2.4.2. Teor de umidade da fibra natural de rafia e dos compósitos estruturais	60
4.2.4.3. Massa específica da fibra natural de rafia e dos compósitos estruturais	60
4.2.5. Absorção sonora da fibra natural de rafia e dos compósitos estruturais	61
4.2.6. Condutibilidade térmica da fibra natural de rafia e dos compósitos estruturais	62
4.2.7. Propriedades mecânicas da fibra natural de rafia e dos compósitos estruturais	64
4.3. Preparação dos diferentes compósitos estruturais com fibra de rafia	66
4.3.1. Compósito laminado (Híbrido)	67
4.3.2. Painéis sanduíche	67
4.3.3. Compósito MDP	70
4.3.4. Compósito laminar	71

4.3.5. Painéis OSB.....	72
4.3.6. Compósito por mistura e moldagem.....	73
4.3.7. Compósito epóxi com fibra de rafia	73
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	75
5.1. Composição química e morfologia da fibra natural de rafia	75
5.2. Componentes da fibra natural de rafia.....	81
5.3. Degradação térmica da fibra natural de rafia.....	82
5.4. Avaliação da massa específica, absorção de água e teor de umidade da fibra natural de rafia.....	86
5.5. Coeficiente de absorção sonora da fibra natural de rafia.....	89
5.6. Condutividade térmica da fibra natural de rafia	91
5.7. Inflamabilidade da fibra natural de rafia.....	92
5.8. Resistência à compressão da fibra natural de rafia	93
5.9. Caracterização dos compósitos estruturais com fibra de rafia	94
5.9.1. Propriedades físico-químicas	95
5.9.2. Propriedades mecânicas dos compósitos.	99
5.10. Propriedades termo acústicas dos compósitos.....	101
5.10.1. Condutibilidade térmica dos compósitos	101
5.10.2. Coeficiente de absorção sonora dos compósitos	103
6. CONCLUSÕES	105
7. SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS	108
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

RESUMO

MVEH MINSONGUI, Jean de Dieu Briand. **Desenvolvimento de Compósitos Estruturais Com Fibra Natural de Ráfia Com Propriedades Termoacústicas.** Porto Alegre. 2016. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

A necessidade de reduzir o impacto ambiental provocado pelos materiais utilizados na indústria tem levado à pesquisa de materiais ecologicamente viáveis. Os compósitos com cargas de fibras naturais apresentam-se como uma das alternativas. Esse trabalho propõe o uso da fibra natural de rafia como reforço em compósitos estruturais, através de processos como a laminação, moldagem e colagem. A caracterização da fibra bruta da rafia e dos compósitos resultantes desses processos foi realizada visando investigar as características morfológicas, as propriedades mecânicas, como os limites de flexão, o módulo de elasticidade e o limite de cisalhamento na linha de colagem, bem como as propriedades termoacústicas. A compatibilidade da fibra, com a matriz polimérica foi avaliada, bem como sua decomposição térmica pela análise termogravimétrica (TGA). Os resultados da caracterização da fibra natural de rafia apontam que essa fibra possui propriedades termoacústicas interessantes, uma massa específica 90% menor que a da madeira, além de uma boa resistência à propagação da chama, investigada pelo teste da inflamabilidade. A análise morfológica mostrou que a fibra de rafia bruta é composta de um arranjo tridimensional de células fechadas, separadas por camadas longitudinais. Este tipo de arranjo é similar a outros sistemas que possuem boas propriedades termoacústicas. Com relação à compatibilização da fibra com matrizes poliméricas, as resinas epóxi apresentaram resultados satisfatórios para compósitos laminares. Essas resinas apresentaram também bons resultados na preparação de painéis sanduíche com placas externas de compensados de madeiras e de alumínio com núcleo em fibra natural de rafia. Os processos de fabricação do MDF (*Medium density fiberboard*), OSB (*Oriented strand board*), MDP (*Medium density particleboard*) foram testados e se mostram compatíveis com a fibra natural de rafia, utilizando adesivo natural. As propriedades dos compósitos estruturais estudados como o Módulo de elasticidade, a resistência à flexão, condutibilidade térmica e absorção sonora foram superiores daqueles materiais utilizados hoje em dia com características de isolamento termoacústico. O compósito híbrido laminar de adesivo epóxi, micro esfera de vidro, plastificante, fibra natural de rafia e fibra de carbono apresentou propriedades mecânicas 22,63% melhores e a massa específica 26% menor que as propriedades dos compensados de madeiras utilizados como assoalhos.

Palavras-Chaves: Compósito, MDF, MDP, OSB, Ráfia hookeri, Termo acústico.

ABSTRACT

MVEH MINSONGUI, Jean de Dieu Briand. *Development of Structural Composites with Raphia Natural Fiber with Thermoacoustics Properties*. Porto Alegre.2016. PhD Thesis. Graduation Program in Materials Engineering and Technology , PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

The need to reduce the environmental impact caused by the materials used in the industry has led to research on environmentally sustainable materials. The composites with filler as natural fibers are presented as an alternative. This study proposes the use of Raphia natural fiber as filler in structural composite by processes such as laminating, molding and -bonding. Characterization of the pure raphia fiber and the composites resulting of these processes was performed to investigate the morphology, mechanical properties such as bending limit, elastic modulus, shear limit in bonding and the acoustic properties. The fiber compatibility with the polymer matrix was evaluated as well as its thermal decomposition by thermal gravimetric analysis (TGA). Characterization results of Raphia natural fiber indicate that this fiber has interesting, a specifies mass less than 90% wood, thermoacoustics properties and good resistance to flame spread, investigated by the inflammability test. The morphological analysis showed that the pure raphia fiber is composed of a three-dimensional arrangement of closed cells, separated by longitudinal layers. This type of arrangement is similar to other systems that have good thermoacoustics roperties. Regarding the compatibility of fiber with polymer matrices, epoxy resins showed good adherence to laminar composites. These resins also showed good results in the preparation of sandwich panels with external offset plates of wood and aluminum with core of raphia natural fiber. The preparation processes of MDF, OSB, MDP were tested and showed consistent with the raphia natural fiber using natural adhesive.

The properties evaluation of the studied structural composites, such as elastic odulus, flexural strength, sound absorption and thermal conductivity were superior to those materials used nowadays in many products with thermoacoustic insulation characteristics. The hybrid laminar composite epoxy adhesive, micro glass bead, plasticizer, raffia natural fiber and carbon fiber showed 22.63% better mechanical properties and bulk density 26% less than the offset properties of wood used as flooring.

Key Words: Adhesive, Composite, MDP, MDF, OSB, Raphia hookeri, Thermo acoustic.

1. INTRODUÇÃO

Os insumos que o ser humano precisa para seu desenvolvimento, seu sustento e seu conforto são oriundos da natureza, nas mais diversas formas e origens, sendo transformados nos formatos compatíveis com cada aplicação. Os estudos mostram que um futuro melhor para o meio ambiente considera o uso racional dos recursos naturais, a preservação do solo, da água e da atmosfera contra os contaminantes sólidos e gasosos (Sanchez *et al.*, 2010; Farias & Sellito, 2011).

Hoje em dia o desenvolvimento de novos materiais de engenharia tem tido grande crescimento e relevância, buscando atender principalmente as necessidades dos vários segmentos industriais e da sociedade. Tal interesse deve-se à necessidade do aumento do uso de matérias-primas provenientes de fontes renováveis, reduzindo o custo e o impacto ambiental na produção dos materiais. Neste contexto, as fibras naturais, principalmente as celulósicas obtidas de várias fontes como bagaço de cana de açúcar, madeira, juta, cânhamo, sisal, coco, entre outras tem sido incorporadas como reforço ou carga em vários materiais, principalmente materiais cujas matérias-primas são resinas termoplásticas ou termofixas (Nóbrega, 2007). As resinas termofixas são mais usadas como matriz em compósitos com fibras naturais devido a sua estabilidade térmica e dimensional, a resistência química em altas temperaturas e a boa trabalhabilidade que elas oferecem (Viapiana, 2005).

O grande desafio é incorporar os compósitos obtidos com fibras naturais na indústria automobilística, onde o consumo de produtos industrializados cresce exponencialmente influenciado, principalmente, pela política de renovação de frota subsidiado pelo governo (Rocha & Farias, 2010). Desta forma, a idade média da frota de transporte público (ônibus) passou de 14 para 5 anos. Essa substituição tem suas consequências ambientais centralizadas no destino dos veículos velhos.

Nas últimas décadas, o Brasil atraiu os maiores produtores de veículos do mundo, esses passaram a produzir localmente e não apenas montar os veículos com peças importadas, levando a grandes quantidades de resíduos gerados durante a produção das peças, bem como uma grande quantidade de automóveis pulverizados no mercado nacional e internacional para substituir ou aumentar a frota (Viapiana, 2005; Sanchez *et al.*, 2010).

Uma grande gama de materiais é utilizada na indústria automobilística para garantir o conforto térmico e acústico. Em função da fonte geradora de ruído ou de calor e, dependendo do tipo de veículo é usado principalmente o poliuretano expandido para neutralizar os ruídos provocados pelo motor e a fibra de vidro para neutralizar os ruídos externos que tendem a ser transferidos para área dos passageiros. Outros materiais usados para o revestimento interno, como tecido e carpetes fabricados em fibras sintéticas, também contribuem para o isolamento termoacústico, principalmente nos veículos de passeio. Quando se trata de veículos de grande porte utilizados no transporte coletivo, no assoalho são usados os derivados da madeira em forma de compensados ou aglomerados (Laghmouchi, 2008; Zorpas & Inglezakis, 2012).

Desde a década de 90 novos materiais sintéticos integraram o parque industrial, o impacto ambiental causado por estes, bem como as novas regulamentações sobre a reciclagem dos materiais e o destino de resíduos provocaram a busca de materiais alternativos, oriundos de fontes renováveis (Viapiana, 2005; Sanchez *et al.*, 2010).

Em relação aos produtos obtidos pelo uso de fibras tradicionais como carga, os compósitos fabricados com fibras naturais apresentam vantagens significativas, tais como baixa densidade, boas propriedades mecânicas, boas qualidades acústicas e baixo custo, permitindo o uso até de partes menos nobres da planta. (Ell Hajj *et al.*, 2009). Esses compósitos têm representados também um menor impacto ambiental durante sua produção e menor peso quando utilizados em veículos de transporte aumentando a eficiência energética. Além disso, os materiais provenientes de fibras naturais podem ser incinerados ou degradados na natureza (Joshi *et al.*, 2004; Gurunathan *et al.*, 2015).

A ráfia é uma planta encontrada em abundância no centro oeste da África Central e seu tempo de vida como planta é limitado a menos de 10 anos (Mann & Wendl, 2002). Seu crescimento é rápido e abundante tornando-se um fator importante para o baixo custo de sua produção. A ráfia em algumas regiões do continente Africano é considerada uma planta indesejável para a agricultura local, principalmente para o plantio de arroz e é eliminada pela queima da planta em grande quantidade (Foadieng *et al.*, 2014). Além disso, esta fibra tem sido utilizada tradicionalmente pelos povos indígenas para algumas aplicações, tais como cortinas de janelas e portas, cobertura de casas, foros e artesanato de modo geral (Foadieng *et al.*, 2014).

Esse trabalho propõe materiais alternativos, compósitos estruturais com fibra natural de ráfia, que atende algumas propriedades essenciais na engenharia, respondendo ao mesmo tempo às preocupações da sustentabilidade.