



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
INDUSTRIAL

MARIO DOS SANTOS BULHÕES

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO PARA ISOLAMENTO
TÉRMICO USANDO SERRAGEM DE MADEIRA “CORYMBIA
CITRIODORA”

Salvador

2016

MARIO DOS SANTOS BULHÕES

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO PARA ISOLAMENTO
TÉRMICO USANDO SERRAGEM DE MADEIRA “CORYMBIA
CITRIODORA”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia Industrial, da
Universidade Federal da Bahia como requisito para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Asher Kiperstok

Orientador: Prof. Dr. Sandro Fábio César

Salvador

2016

Modelo de ficha catalográfica fornecido pelo Sistema Universitário de Bibliotecas da UFBA para ser confeccionada pelo autor

Bulhões, Mario dos Santos
DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO PARA ISOLAMENTO TÉRMICO
USANDO SERRAGEM DE MADEIRA ?CORYMBIA CITRIODORA? /
Mario dos Santos Bulhões. -- Salvador, 2016.
90 f. : il

Orientador: Asher Kiperstok.
Coorientador: Sandro Fábio César.
Dissertação (Mestrado - Programa de Pós Graduação em
Engenharia Industrial - PEI) -- Universidade Federal da
Bahia, Escola Politécnica da UFBA, 2016.

1. compósito. 2. eucalipto. 3. látex. 4. mercerização.
I. Kiperstok, Asher. II. César, Sandro Fábio. III.
Título.

MARIO DOS SANTOS BULHÕES

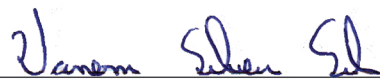
**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO PARA ISOLAMENTO
TÉRMICO USANDO SERRAGEM DE MADEIRA “CORYMBIA
CITRIODORA”**

Dissertação submetida para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Industrial no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia. Salvador – Bahia, 23 de Setembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr^a. Rosana Lopes Lima Fialho
Universidade Federal da Bahia



Prof^a. Dr^a. Vanessa Silveira Silva
Universidade Federal da Bahia



Prof^a. Dr^a. Joyce Batista Azevedo
SENAI CIMATEC - Departamento de Materiais

Salvador

2016

Dedicatória

Ao meu Pai Moises Pereira Bulhões

À Mãe Maura dos Santos Bulhões

Aos meus irmãos: Marcos dos Santos Bulhões e Marcia dos Santos Bulhões

AGRADECIMENTOS

A minha querida mãe Maura Bulhões, minha irmã e irmão Márcia Bulhões e Marcos Bulhões, pelo apoio necessário nos momentos de dificuldade, acredito que sem a ajuda deles não teria concretizado tal objetivo.

Aos meus orientadores, Prof^o Dr. Sandro Fabio Cesar e Prof^o Dr. Asher Kiperstok, pela orientação prestada ao longo do desenvolvimento do projeto, a qual foi fundamental para o alcance dos objetivos estabelecidos e cumprimento das metas planejadas durante a realização deste trabalho.

A Prof^a Dra. Rosana Lopes Fialho pelo apoio e esclarecimentos prestados ao longo da execução do trabalho como também por sua disponibilidade sempre que necessário.

Aos meus companheiros de labor, Tarcísio de Oliveira Pereira e Bruno Fernandes, agradeço pela ajuda prestada em algumas atividades presentes neste trabalho.

A todos os meus colegas de curso, pelo companheirismo e união.

RESUMO

O uso de resíduos de madeira eucalipto, gerados nas etapas de beneficiamento presente nas indústrias do setor moveleiro, para a produção de compósitos termoplásticos, apresentam algumas características e vantagens quando comparados com materiais de origem sintética a exemplo da fibra de vidro. Algumas dessas vantagens podem ser citadas: apresentam menor tempo de degradação, baixo custo de processamento, implicando em menor consumo de energia, são bons isolantes térmicos e possuem baixa densidade. Este trabalho tem como objetivo produzir compósitos com características isolantes térmicas a partir de resíduos de madeira eucalipto *Corymbia citriodora* (serragem) e látex industrializado modificados quimicamente. Dessa forma, realizou-se o tratamento químico da serragem de madeira de eucalipto *Corymbia citriodora*, objetivando reduzir sua propriedade higroscópica, como também do látex industrializado visando melhorar sua adesão com a fase de reforço. O processo de produção dos compósitos envolveu algumas etapas como: separação e classificação da serragem de madeira por tamanho; tratamento químico por mercerização; definição dos traços; mistura dos materiais; moldagem e a cura da matriz. A matriz foi curada à temperatura ambiente e a 65°C em estufa elétrica. Os corpos de prova preparados foram caracterizados em relação à formação de fungos, absorção de umidade e eficiência de isolamento térmico. Os resultados obtidos sinalizam que o processo proposto tem potencial para produção de um compósito a partir da utilização de resíduos de madeira e látex industrializado para aplicações em paredes e pisos, como isolante térmico. O tratamento químico da serragem de madeira pelo processo de mercerização modificou parcialmente sua estrutura, tornando-as menos higroscópicas. Os resultados preliminares indicam que o teor de látex é uma variável importante e determinante para absorção de umidade. O compósito obtido mostrou-se inadequado ou inapropriado às condições de trabalho com elevada presença de umidade ou ambientes susceptíveis a presença de água. Já os resultados do ensaio de isolamento térmico demonstram que os compostos com espessura de 18mm e concentração de látex de 35% são eficientes quando utilizados como isolante térmico, contribuindo para o aumento do conforto térmico nos ambientes em que forem empregados.

Palavras-chave: compósito, látex, mercerização, eucalipto

ABSTRACT

The use of eucalyptus wood residues, generated in the processing stages present in the industries of the furniture industry, for the production of thermoplastic composites, presents some characteristics and advantages when compared with materials of synthetic origin, such as glass fiber. Some of these advantages can be mentioned: they have a shorter degradation time, a lower processing cost, lower energy consumption, good thermal insulation and low density. This work aims to produce composites with thermal insulation characteristics from eucalyptus wood residues *Corymbia citriodora* (sawdust) and chemically modified latex. In this way, the chemical treatment of the eucalyptus wood sawdust *Corymbia citriodora* was carried out, aiming to reduce its hygroscopic properties, as well as industrialized latex in order to improve its adhesion with the reinforcement phase. The process of composite production involved some steps such as: separation and classification of wood sawdust by size; Chemical treatment by mercerization; Definition of traits; Mixing of materials; Molding and curing the matrix. The matrix was cured at room temperature and at 65 ° C in an electric oven. The specimens prepared were characterized in relation to fungi formation, moisture absorption and thermal insulation efficiency. The results indicate that the proposed process has the potential to produce a composite from the use of wood and industrial latex residues for wall and floor applications as thermal insulation. The chemical treatment of wood sawdust by the mercerization process partially modified its structure, making them less hygroscopic. Preliminary results indicate that latex content is an important and determinant variable for moisture absorption. The composite obtained proved to be inadequate or inappropriate to the working conditions with high humidity presence or environments susceptible to the presence of water. The results of the thermal insulation test demonstrate that the compounds with a thickness of 18mm and a concentration of latex of 35% are efficient when used as a thermal insulation, contributing to the increase of thermal comfort in the environments in which they are used.

Keywords: composite, latex, mercerisation, eucalyptus

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de serragens gerados por máquinas	22
Figura 2 - Tipos de serragens gerados pelas máquinas durante seu beneficiamento e sua classificação granulométrica.	23
Figura 3 - Estrutura química das fibras vegetais: a) celulose, b) lignina e c) hemicelulose	23
Figura 4 - Estrutura química da hidrólise básica da lignina	24
Figura 5 - Produção de borracha natural a partir da seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>), método antigo (a) e o método Rildley (b).	26
Figura 6 - Processo de ultracentrifugação do látex	28
Figura 7 – Classificação dos compósitos	30
Figura 8 - Manta para isolamento térmico em EVA	42
Figura 09 – Corpo de prova em espuma de EVA.	45
Figura 10 – Corpo de prova em lã de vidro.	45
Figura 11 – serragem de madeira <i>corymbia citriodora</i>	45
Figura 12 - Agitador de peneiras	46
Figura 13 – Peneiras	46
Figura 14 - Pesagem serragem em balança analítica	47
Figura 15 – Hidróxido de sódio (NaOH)	47
Figura 16 - Preparação da solução de NaOH)	48
Figura 17 – Imersão da serragem eucalipto na solução.	48
Figura 18: Filtragem e lavagem da serragem	49
Figura 19 – Látex	49
Figura 20 – Glicerol líquido	49
Figura 21 – Ácido	49
Figura 22 – Reação banho térmico	50
Figura 23 - Mistura da serragem de eucalipto e látex	51
Figura 24 - Moldagem da mistura látex com e sem modificação e serragem,	

com cura a temperatura ambiente.	51
Figura 25 – Etapa de cura dos corpos de prova com látex modificado e não modificado e serragem, com cura a temperatura a 65 °C.	52
Figura 26 – Árvore de decisão para látex modificado e látex não modificado	52
Figura 27 – Corpos de prova sendo imersos em água.	54
Figura 28 – Corpos de prova tendo sua massa medida	54
Figura 29 - Placa aquecedora Ika C-MAG HS 7	56
Figura 30 - Molde de isolamento térmico	56
Figura 31 – Termopar	56
Figura -32 Espectros de FTIR da serragem tratada e não tratada	61
Figura 33 - Látex modificado após a cura	62
Figura 34 – Látex não modificado após a cura	62
Figura 35 – Compósito com fungos	62
Figura 36 – Compósito sem fungo	62
Gráfico 1 - Percentuais e tamanhos das partículas de madeira eucalipto corymbia citriodora, gerados pela aquina de desengrosso.	59
Gráfico 2 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com (espessura 9mm – látex 15, 25,35%), espuma de EVA e lã de vidro.	63
Gráfico 3 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com (espessura 15mm – látex 15, 25,35%), espuma de EVA e lã de vidro.	64
Gráfico 4 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com (espessura 18mm – látex 15, 25,35%), espuma de EVA e lã de vidro.	64
Gráfico 5 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com espessura variando em (9, 15 e 18mm) com concentração de látex (15%).	65
Gráfico 6 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com espessura variando em (9, 15 e 18mm) com concentração de látex (25%).	66
Gráfico 7 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com espessura variando em (9, 15 e 18mm) com concentração de látex (35%).	66
Gráfico 8 – Efeito das variáveis em relação à temperatura	67
Gráfico 9 – Interação da variável com a espessura	68
Gráfico 10 - Absorção de umidade fibra tratada e não tratada – látex sem modificação 15%	73

Gráfico 11 - Absorção de umidade fibra tratada e não tratada - látex sem modificação 25%	74
Gráfico 12 - Absorção de umidade fibra tratada e não tratada – látex sem modificação 35%	75
Gráfico 13 – Interação das variáveis em relação à absorção de umidade	76
Gráfico 14 – Efeitos principais em relação à absorção de umidade	76

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01	Reação química do NaOH com a serragem	25
Equação 02	Ponto de saturação de absorção de umidade	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de madeiras em toras para uso industrial no Brasil por espécie, segundo os principais segmentos industriais – 2013	21
Tabela 2 – Composição látex in natura	27
Tabela 3 – Condutividade térmica de materiais naturais e tradicionais sintéticos industrializados.	40
Tabela 4 - Valores de resistência térmica da lã de vidro	43
Tabela 5 - Planejamento fatorial 2K para os ensaios de resistência térmica	57
Tabela 6 – Classificação granulométrica	58
Tabela 7 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 9mm e espuma de EVA 9mm.	69
Tabela 8 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos espessura de 9mm e lã de vidro 9mm.	69
A Tabela 9 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 15mm e espuma de EVA 15mm.	69
Tabela 10 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 15mm e lã de vidro 15mm	70
Tabela 11 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 18mm e espuma de EVA 18mm	70
Tabela 12 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 18mm e lã de vidro 18mm	70
Tabela 13- Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 9, 15, 18mm; lã de vidro e espuma de 9, 15, 18mm e látex com percentual de 15,25,35%.	72
Tabela 14- Valores relacionados à absorção de umidade para os compósitos produzidos com fibra não tratada e fibra tratada.	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

K –Kelvin;

Hc – Coeficiente de transferência de calor por convecção, em W/m².K;

°C – Grau Celsius;

µm – Micra por metro;

EVA – Etileno acetato de vinila;

SBS – Sociedade brasileira de silvicultura;

GTZ – German Technical Cooperation Agency;

m³ – Metro cubico;

NaOH – Hidróxido de sódio;

DRC- Concentração de borracha seca – Dry rubber content;

STC – Total de sólidos - Total solid contente;

PH – Potencial Hidrogeniônico;

% – Porcentagem;

MMA – Metil metacrilato;

ASTM – American Society for Testing Materials;

SUMÁRIO

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	14
INTRODUÇÃO.....	15
OBJETIVO GERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
METODOLOGIA.....	17
CAPÍTULO – 1	19
1 REFERENCIAL TEÓRICO	19
1.1 RESÍDUOS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, MATERIAIS COMPÓSITOS E BORRACHA NATURAL.	19
1.1.1 Tratamento químico da serragem	23
1.2.1 Borracha Natural	24
1.2.1.1 Produção comercial de borracha natural a partir da seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)	25
1.2.1.2 Elementos não-Borrachas presentes na borracha natural	26
1.2.1.3 Processo de centrifugação e concentração do látex	27
1.2.1.4 Modificação química do látex	28
1.2 MATERIAIS COMPÓSITOS	29
1.2.1 Compósitos de borracha	32
1.2 CONFORTO TÉRMICO	35
1.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS	36
1.5 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	36
1.6 ISOLAMENTO TÉRMICO	38
1.6.1 Materiais naturais para isolamento térmico	39
1.6.2 Materiais sintéticos para isolamento térmico	40
CAPÍTULO – 2	44
2. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	44
2.1 PLANEJAMENTO FATORIAL 2K	44
2.2 SEPARAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA	45
2.3 TRATAMENTO QUÍMICO DA SERRAGEM POR MERCERIZAÇÃO	47
2.4 MODIFICAÇÃO DA MATRIZ (LÁTEX) E PRODUÇÃO DOS	

CORPOS DE PROVA	49
2.5. ANÁLISE FTIR	53
CAPÍTULO – 3	54
3. METODOLOGIA DE ENSAIOS E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	54
3.1 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE UMIDADE	54
3.2 ENSAIOS DE EFICIÊNCIA DE ISOLAMENTO TÉRMICO	55
CAPÍTULO – 4	58
4. ANÁLISE E RESULTADOS	58
4.1 SEPARAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA	58
4.2 EFEITOS DO TRATAMENTO QUÍMICO POR MERCERIZAÇÃO NA SERRAGEM	60
4.2.1 Análise FTIR	60
4.3 MODIFICAÇÃO DA MATRIZ (LÁTEX) E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	61
4.4 RESULTADOS PLOTADOS PARA O ENSAIO DE EFICIÊNCIA DE ISOLAMENTO TÉRMICO	63
4.5 COMPARAÇÃO DA REDUÇÃO DE TEMPERATURA DOS CORPOS DE PROVA EM RELAÇÃO ÀS ESPESSURAS 9, 15 E 18mm	65
4.6 ANÁLISES DE INTERAÇÃO E CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PRESENTES NO EXPERIMENTO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA	67
4.5 RESULTADOS PLOTADOS PARA O ENSAIO DE ABSORÇÃO DE UMIDADE.	72
4.6 ANÁLISES DE INTERAÇÃO E CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PRESENTES NO EXPERIMENTO DE ABSORÇÃO DE UMIDADE	75
CAPÍTULO – 5	79
5. CONCLUSÃO	79
5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	80
5.2. REFERÊNCIAS	81

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Estes estudos são apresentados na forma de capítulos, organizados como descrito a seguir:

Capítulo 1 - abordando o referencial teórico, resultante do estudo e análise de outros trabalhos relacionados ao tema objeto da pesquisa, em busca do entendimento das diferentes formas de abordagens sobre o tema em questão. Ainda nesta sessão, foram abordados os seguintes itens: conforto térmico, propriedades térmicas, transferência de calor, isolamento térmico, materiais compósitos e borracha natural.

Capítulo 2 - referindo-se a parte de materiais, métodos e procedimentos experimentais, pesquisa deixando claro o trajeto percorrido para o alcance dos objetivos e cumprimento das metas estabelecidas. Esta seção é composta das seguintes etapas: separação e classificação granulométrica, tratamento químico da serragem, análise FTIR, modificação da matriz (látex) e produção dos corpos de prova.

Capítulo 3- destinado à parte dos ensaios experimentais mostrado de forma sequenciada os passos empregados nos ensaios de absorção de umidade e eficiência de isolamento térmico.

Capítulo 4 - relacionado às análises e resultados da pesquisa apresentado seus resultados de forma quantitativa e qualitativa relacionando-os com o tema objeto da pesquisa.

Capítulo 5 - destinado à conclusão da dissertação, contendo as opiniões do pesquisador alicerçada nos resultados encontrados, levando em consideração o estudo do referencial teórico como também da metodologia empregada.

INTRODUÇÃO

Em muitos países, o consumo energético para construções de edifícios representa aproximadamente 40% da demanda de energia global. Da mesma forma, a demanda energética para o aquecimento e arrefecimento de um edifício é de aproximadamente 60% da energia total consumida nos edifícios, ou seja, a maior demanda por energia para atender aos requisitos de uso e funcionamento de um edifício está diretamente relacionada ao conforto térmico (MELO e LAMBERTS, 2009). Os aspectos relacionados ao design, como também a seleção dos materiais destinados ao revestimento das construções, devem ser levados em consideração no intuito de reduzir o consumo energético para o aquecimento e refrigeração das habitações. Os materiais utilizados, como isolantes térmicos, podem ser de origem sintética e natural, e são considerados elementos fundamentais na conservação de energia em edifícios e moradias (ZHENG et al., 2010).

No processo de beneficiamento de uma tora de madeira, aproximadamente 45% do seu volume é transformado em matéria-prima, ou seja, o volume restante da tora beneficiada se transforma em resíduo. Esta problemática vem sendo muito discutida por entidades e pesquisadores interessados na manutenção e redução dos impactos ambientais, decorrentes do setor moveleiro (MADY, 2000).

O trabalho proposto foi desenvolvido objetivando encontrar soluções adequadas e de maior valor agregado aos resíduos oriundos do setor moveleiro. Foram produzidos compósitos com características de isolamento térmico a partir da utilização de serragem de madeira “*Corymbia citriodora*” e látex industrializado em concentrações variadas. Ensaio de eficiência de isolamento térmico de absorção de umidade também foram realizados para um melhor entendimento das características e propriedades físicas do material desenvolvido.

A utilização de resíduos de origem vegetal para a produção de compósitos poliméricos é considerada uma alternativa adequada à destinação destes resíduos, contribuindo para a redução dos problemas gerados pelo seu descarte inadequado no meio ambiente. Os compósitos produzidos a partir de resíduos considerados subprodutos dos sistemas produtivos podem ser aplicados em diversas áreas da indústria, desde a indústria da construção civil até a automotiva.

O crescente interesse pela utilização dos resíduos de madeira e das fibras naturais como matéria-prima para a produção de compósitos aplicados como isolantes térmicos está diretamente relacionado às características e vantagens que estes materiais apresentam em relação aos materiais sintéticos, a exemplo da fibra de vidro. Segundo Faruk et al, (2012), algumas das vantagens e características destes materiais podem ser citadas: são originários de fontes renováveis, apresentam baixo custo de processamento, possuem boas propriedades mecânicas e baixa densidade, como também são bons isolantes térmicos.

Alguns estudos relacionados à utilização de fibras vegetais, resíduos de madeira e matrizes termoplásticas demonstram o potencial destes materiais para a produção de ecocompósitos. Segundo Ford (2011) a reutilização de resíduos de pneu, madeira e látex apresentam potencial para a produção de compósitos com características de isolamento térmico, além de serem economicamente viáveis. Da mesma maneira, Kader et al. (2012) analisaram as características de isolamento térmico de compósitos fabricados com resíduos de borracha, fibras de vegetais e látex em diferentes concentrações e constataram que a adição de pequenas concentrações de fibra vegetal à matriz torna o compósito mais propenso a absorção de umidade. Já Thakur (2013) afirma que os compósitos produzidos com elastômeros reforçados com fibras vegetais vêm recebendo uma atenção especial da indústria de maneira geral devido ao seu baixo custo de processamento e fabricação, além de apresentarem boas propriedades físicas.

Segundo Missagia (2011), a produção de compósitos poliméricos reforçados com resíduos de madeira e fibras naturais movimentam bilhões de dólares ao redor do mundo. Este mercado vem sendo expandido e aumentou cerca de 0,36 milhões de toneladas em 2007 para 2,33 milhões de toneladas em 2012, com perspectivas de crescimento para 3,45 milhões até 2020 (PAUKSZTA e BORYSIK, 2013).

Este trabalho tem como objetivo produzir compósitos com características isolantes a partir de resíduos de madeira eucalipto *Corymbia citriodora* (serragem) e látex industrializado modificados quimicamente.

OBJETIVO GERAL

Propor compósito a partir da utilização da serragem de madeira *Corymbia citriodora* e látex industrializado modificados quimicamente, visando aplicação de isolamento térmico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar as características da serragem de madeira visando definir o percentual e tamanho das partículas na elaboração dos traços para produção dos compósitos.

Avaliar a influência do tratamento químico por mercerização na hidrofília das fibras.

Avaliar o efeito da modificação do látex nas propriedades dos compósitos.

Avaliar as propriedades de absorção de umidade e isolamento térmico em compósitos com látex modificado e serragem de madeira tratada.

METODOLOGIA

A pesquisa pode ser definida como um conjunto de práticas e propostas, voltadas à solução de problemas e obtenção de respostas relacionadas aos variados fenômenos presentes nas esferas econômica, social, tecnológica e política, tendo como base a aplicação de procedimentos racionais e sistemáticos, (MINAYO 1993, p.23; GIL 1999, p.42). Segundo Demo (1996, p.34), o ato de pesquisar pode ser definido como toda atividade voltada à observação e compreensão de fenômenos objetivando a obtenção de resposta de problemas cotidianos, através do “questionamento sistemático crítico e criativo, mais a intervenção competente na realidade, ou o diálogo crítico permanente com a realidade em sentido teórico e prático”.

Segundo Gil (1991 p.35) quanto à natureza da pesquisa, esta pode ser classificada como: básica ou aplicada, entretanto a mesma pode ser quantitativa ou qualitativa do ponto de vista da abordagem do problema em questão. Do ponto de vista de seus objetivos a pesquisa poderá caracterizar-se de forma exploratória, descritiva ou explicativa. Já para procedimentos técnicos a mesma pode ser classificada como: bibliográfica, estudo de caso, experimental, de levantamento, documental, pesquisa *ex-post-facto*, pesquisa de ação ou participativa.

Baseado na classificação de Gil (1991 p.35) e levando em consideração a natureza do presente trabalho, a metodologia empregada caracteriza-se como aplicada, isso porque, empregou-se conhecimento voltado à solução de problemas relacionados ao aproveitamento e utilização de resíduos de madeira, gerados em suas etapas de

beneficiamento. Quanto à abordagem da problemática esta caracterizou-se como quantitativa, devido aos dados quantitativos obtidos através dos ensaios experimentais poderem ser colhidos, analisados e valorados diretamente no ambiente da pesquisa. Também é considerada experimental, isso porque, definiu-se um objeto de estudo analisando as variáveis selecionadas em resposta aos ensaios realizados. Caracteriza-se também como descritiva devido à descrição de todas as tarefas, etapas e desenvolvimento do conteúdo da pesquisa.

CAPÍTULO – 1

1. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a base conceitual e teórica desta pesquisa subsidiando a produção de um novo material, fabricado a partir da utilização de serragem de madeira *Corymbia citriodora* e látex. Foram descritos conceitos a respeito de: conforto térmico; propriedades térmicas; transferência de calor e isolamento térmico. Ainda neste capítulo foram abordados aspectos gerais sobre materiais compósitos; apresentando aspectos relacionados às características e propriedades físicas, formas de processamento, fabricação e aplicabilidade; borracha natural, descrevendo seu processo de extração e concentração, mostrando sua importância como produto versátil e de baixo impacto ambiental.

1.1 RESÍDUOS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, MATERIAIS COMPÓSITOS E BORRACHA NATURAL

Aspectos como natureza renovável, grande quantidade na natureza, baixa densidade e boa resistência à tração, tornam as fibras naturais e os resíduos de madeira decorrentes de suas etapas de beneficiamento um substituto aos materiais sintéticos como as fibras de vidro. Dessa forma os materiais a base de fibras vegetais possibilitam a redução de custos, menor peso, como também a fabricação de novos materiais com boas propriedades mecânicas, favorecendo seu uso em várias condições de trabalho, além de contribuir com aspectos econômicos e ambientais (ABDUL-KHALIL et al., 2007).

O preço das fibras naturais não é muito estável, variando conforme sua região e forma de obtenção, contudo, a utilização de fibras naturais e resíduos de madeira para fabricação de compósitos, substituindo outros materiais sintéticos, torna-se cada vez mais comum (RAZERA, 2006).

A geração de resíduos de madeira está diretamente relacionada ao consumo e oferta desta matéria prima pelo mercado consumidor (PEREIRA et al., 2010). O grande volume de resíduo é produzido a partir do beneficiamento das peças de madeira

destinadas a indústria de móveis, quando estas são cortadas, lixadas, furadas e aplainadas, através de máquinas e equipamentos apropriados (ROSARIO 2011; BATISTA et al., 2013). Alguns fatores como o plano de corte das peças, revisão das dimensões presentes nas ordens de serviços, como também a falta de cuidados na pré-seleção das matérias-primas, interferem diretamente no aproveitamento da madeira e na geração de resíduos (PEREIRA et al., 2010).

De acordo com Dobrovolski (1999),

Os resíduos de madeira podem ser classificados em três tipos: serragem, cepilho e lenha.

1) Serragem – a serragem é um resíduo encontrado na maioria das indústrias de madeira, e é gerado principalmente pelo processo de usinagem com serras.

(2) Cepilho – o cepilho é um resíduo encontrado geralmente em indústrias beneficiadoras da madeira como, por exemplo, a indústria de móveis, gerado pelo processamento em plainas.

(3) Lenha - a lenha engloba os resíduos maiores como aparas, refilos, casca, roletes entre outros, e também pode ser encontrada em todas as indústrias de madeira.

Segundo Brito (1995), a lenha representa 71% dos resíduos gerados do beneficiamento de uma tora, os cepilhos com 7% e a serragem representando 22% de seu total. O processo de beneficiamento das toras gera um volume de madeira serrada e de refugo, sendo que de cada 100 m³ de tora de madeira, 48% é convertida em madeira serrada, enquanto que 52% são transformados em resíduo. Após este processo, a madeira sofre outras intervenções em fábricas de móveis e marcenarias, gerando entre 30 m³ a 35,1 m³ de madeira maciça, e aproximadamente 18 m³ de resíduos, este volume é decomposto em: maravalha (6,3 a 6,9 m³), serragem (2,7 - 4,3 m³) e outros (1,7 - 9 m³) (GTZ, 2007).

O grande volume de resíduos gerados pela indústria moveleira e de beneficiamentos de toras, resultam em prejuízos ambientais e econômicos. Este fato agrava-se devido ao baixo aproveitamento desses resíduos, associados à ausência de uma destinação de maior valor agregado, podendo ser utilizados como subprodutos de outras cadeias produtivas.

O aproveitamento dos resíduos de madeira decorrentes de seu beneficiamento pode contribuir para o processo de utilização racional dos recursos florestais, além de colaborar com o processo de gerenciamento dos resíduos sólidos industriais (CERQUEIRA et al., 2012).

O Brasil é considerado, no ranking mundial, o quinto país com a maior área de florestas comerciais plantadas. Segundo Rosário (2011), “este fato esclarece o enorme potencial que o país vem apresentando para a geração de produtos madeireiros, tendo como destaque a madeira proveniente de florestas de reflorestamento”. Atualmente, a indústria de base florestal produz uma gama de produtos provenientes de nichos produtivos específicos, dentre estes, podem ser citados: carvão, lenha e energia; papel e celulose; chapas; madeira e móveis (Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS, 2008). O Brasil possui cerca de 7,60 milhões de hectares de florestas plantadas utilizadas para fins comerciais, dentre os 480 milhões de hectares cobertos com florestas, sendo considerada a segunda maior área de florestas do Planeta.

Os setores de papel e celulose, indústria madeireira, como também a indústria de móveis no Brasil, são abastecidos quase que em sua totalidade pelas florestas plantadas. O eucalipto é certamente a espécie mais cultivada, em 2013 representando cerca de 72% das espécies cultivadas, apresentando um aumento de aproximadamente 9,7% em relação aos 65% em 2008. Em segundo lugar está a madeira de pinus, com cerca de 28% em 2008 apresentando um decréscimo em relação a 2013 com apenas 20%. Segundo a Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas ABRAF (2008), o setor de papel e celulose é sem dúvida o segmento que mais consome madeira de florestas plantadas, com cerca de 32,8% do consumo total destas florestas. A Tabela 1 mostra o consumo de madeiras por espécie e segmentos industriais.

Tabela 1 – Consumo de madeiras em toras para uso industrial no Brasil por espécie, segundo os principais segmentos industriais - 2013

SEGMENTO	CONSUMO DE MADEIRA <i>IN NATURA</i> (m³)			
	EUCALIPTO	PINUS	OUTRAS	TOTAL
CELULOSE E PAPEL	56.628.357	8.067.258	498.085	65.193.700
PAINÉIS DE MADEIRA	6.428.162	13.457.258	378.612	20.264.031
SERRADOS E OUTROS PRODUTOS SÓLIDOS	6.870.498	15.295.499	357.052	22.523.049
CARVÃO	23.533.724	-	-	23.533.724
LENHA INDUSTRIAL	41.832.528	3.929.361	4.262.239	50.024.128
MADEIRA TRATADA	1.824.012	-	-	1.824.012
CAVACOS DE MADEIRA E OUTROS	1.129.621	-	781.200	1.910.821
TOTAL	138.246.903	40.749.376	6.277.187	185.273.466

FONTE: iba.org (Acessado em Jul 2016)

O uso dos resíduos de madeira quando associados a algum tipo de aglutinante do tipo termoplásticos ou termofixo, apresenta grande potencial na produção de compósitos (BANKS, 2003).

Após a extração da madeira na floresta a mesma passa por uma série de etapas até ser transformada em matéria prima para a indústria da construção civil e de móveis. Durante o processo de beneficiamento de uma tora de madeira, são necessárias algumas intervenções no sentido de modificar sua forma e aspecto, ou seja, transformar seu aspecto agreste em um produto com características apropriadas às indústrias acima citadas. Dessa forma, uma linha de produção voltada ao beneficiamento de toras de madeira possui inúmeras máquinas dispostas em um “lay out” específico e sequenciadas de acordo às necessidades das etapas subsequentes do processo de beneficiamento. Algumas máquinas presentes em uma usina beneficiadora podem ser citadas: serra fita, serra circular, desengrosso, plaina, desempenadeira, furadeira, etc. A Figura 1 mostra os tipos de serragens/resíduos gerados pelas máquinas em uma usina de beneficiamento de madeira, voltada para a construção civil.

Figura 1 – Tipos de serragens gerados por máquinas

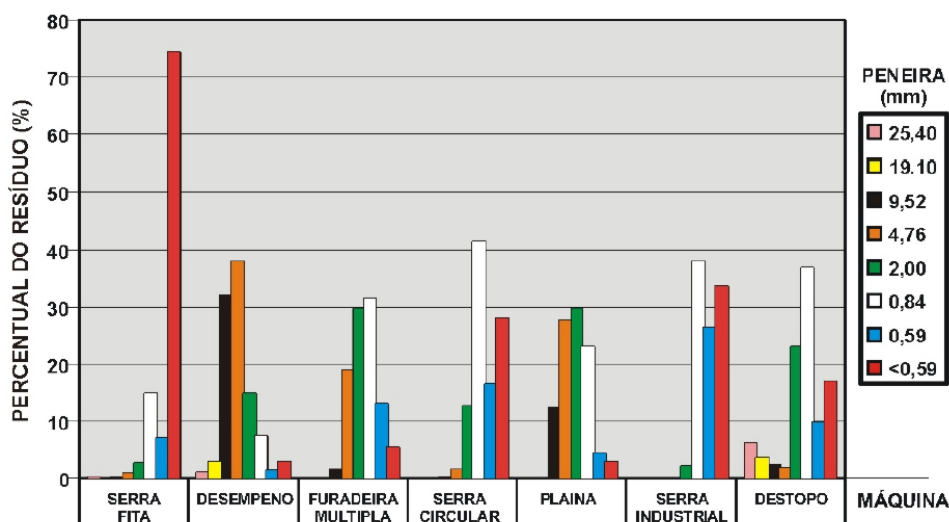
SERRA FITA	SERRA CIRCULAR	SERRA INDUSTRIAL	FURADEIRA MÚLTIPLA
<p>FUNÇÃO: Desdobro e serragem em geral</p> <p>RESÍDUO: Pó de serra, apresentando-se como uma farinha granulosa de cor escura;</p>	<p>FUNÇÃO: Serragem em geral;</p> <p>RESÍDUO: Pó-de-serra, apresentando-se como um pó fibroso;</p>	<p>FUNÇÃO: Serragem de maior precisão</p> <p>RESÍDUO: Apresentando-se como uma mistura de pó e fibras;</p>	<p>FUNÇÃO: Furar</p> <p>RESÍDUO: Material fibroso e macio ao toque apresentando-se como uma mistura de pó, fibras e maravalha de pequenas dimensões;</p>
DESTOPADEIRA	DESEMPENADEIRA	PLAINA	
<p>FUNÇÃO: Destopo</p> <p>RESÍDUO 1: Material fibroso muito fino, apresentando-se como uma mistura de pó e de fibras curtas;</p> <p>RESÍDUO 2: Tocos e pontas de toras e de tábuas;</p>	<p>FUNÇÃO: Desempeno e desbaste</p> <p>RESÍDUO: Maravalha reta fina, média, grossa e lascas;</p>	<p>FUNÇÃO: Aparelhamento</p> <p>RESÍDUO: Maravalha espiralada média e fina</p>	

Fonte: Teixeira (2005)

É importante notar as diferentes características da serragem coletada tal como a cor que é referente à do tronco, cor da espécie de árvore ou mesmo a forma como a serragem é feita, podendo escurecer o resíduo pelo atrito com a lâmina. Diferentes, também, são os aspectos físicos, sendo que há fases de farinha, pó fibroso, maravalhas finas e grossas, lisas ou espiraladas. Por fim, há diferença na granulometria dentro de um mesmo resíduo, podendo ser vistas fases de partículas grosseiras, fases de partículas médias e de partículas finas (TEIXEIRA, (2005)).

A Figura 2 mostra os tipos de serragens gerados pelas máquinas durante seu beneficiamento e sua classificação granulométrica.

Figura 2 - Tipos de serragens gerados pelas máquinas durante seu beneficiamento e sua classificação granulométrica.

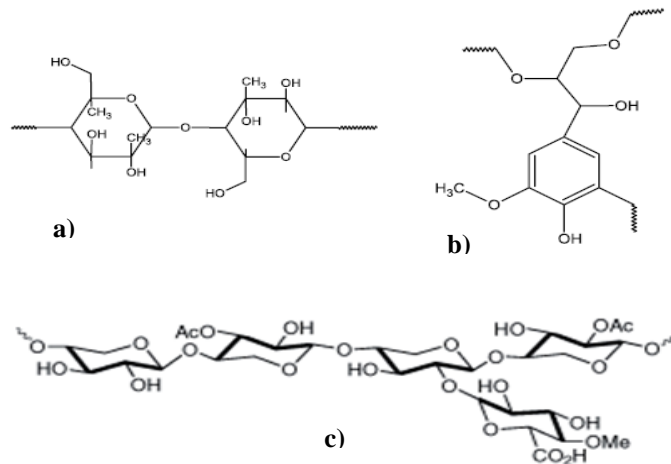


Fonte: Teixeira (2005)

1.1.1 Tratamento químico da serragem

A mercerização pode ser descrita como um tratamento químico alcalino bastante simples e efetivo para modificação de alguns componentes químicos presentes na estrutura das fibras vegetais, através da utilização de hidróxido de sódio NaOH, diluído em água, em concentrações variadas. A efetividade do processo de mercerização está relacionada ao grau de concentração da solução alcalina utilizada e da temperatura, como também do tempo e a duração do tratamento (BORYSIK E DOCZEKALSKA, 2005). A Figura 3 mostra a estrutura química de alguns componentes das fibras vegetais, sendo estes: celulose, lignina e hemicelulose.

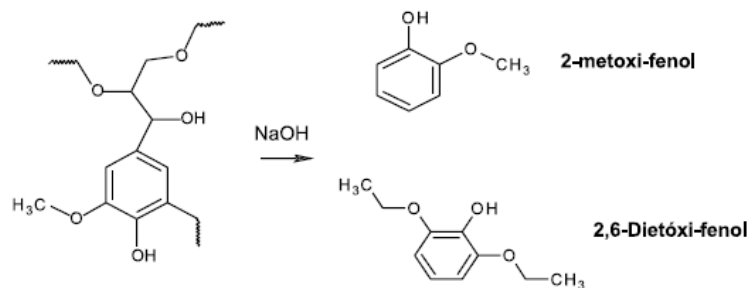
Figura 3 - Estrutura química das fibras vegetais: a) celulose, b) lignina e c) hemicelulose.



Fonte: Adaptação Albinante et al (2013).

O processo de mercerização induz a solubilização da hemicelulose e de lignina, além de alterar a cristalinidade da celulose, (GHALI et al., 2008; TITA Et Al. 2002). A Figura 4 mostra a estrutura química da hidrólise básica ou solubilização da lignina quando submersa em solução de NaOH.

Figura 4 - Estrutura química da hidrólise básica da lignina



Fonte: Albinante et al (2013).

O tratamento químico por mercerização aumenta a rugosidade e a área de contato da superfície da fibra, melhorando sua aderência quando em contato com adesivo. Essa modificação faz com que o processo de adesão ocorra através do mecanismo de ancoragem mecânica da fibra, contribuindo para um maior contato físico entre os materiais, ou seja, entre a matriz látex e as fibras, além de reduzir sua propriedade higroscópica. De acordo com a literatura, a reação das fibras lignocelulósicas com o

NaOH pode ser representada pela Equação 1, (PAUL et al., 2008; ZULUAGA et al., 2009).



1.2.1 Borracha Natural

De acordo com Natural Rubber Materials (2013), entre os elastômeros utilizados pela indústria, a borracha natural (látex) extraída da seringueira é considerada como a maior fonte de elastômeros renováveis. A *Hevea brasiliensis*, conhecida comumente por seringueira, é uma árvore de médio porte e madeira macia, muito comum no Brasil. Entretanto, o maior produtor de borracha natural não é o Brasil, mas sim a região do Sudeste Asiático.

Segundo Moreno (2008),

[...] a borracha crua proveniente do látex da seringueira é uma matéria-prima importante para a manufatura de uma grande quantidade de produtos. É considerada estratégica ao lado de produtos como aço e petróleo, sendo indispensável na produção de artigos essenciais para a humanidade. O látex obtido através das árvores da seringueira contém em adição ao hidrocarboneto poliisoprênico puro, uma grande quantidade de outras substâncias orgânicas e inorgânicas, entre elas proteínas, lipídios, carboidratos e material mineral. As substâncias não borracha, embora em baixas concentrações, tem influência significativa nas propriedades físico químicas do polímero poliisopreno.

1.2.1.1 Produção comercial de borracha natural a partir da seringueira (*Hevea brasiliensis*)

Na década de 1870 foram exportadas sementes da espécie *Hevea brasiliensis* e germinadas no sudeste asiático, sendo em seguida introduzidas em alguns países como: Sri Lanka, Malásia e Singapura e também difundida em países vizinhos a estes, onde o clima, terreno e solo eram adequados ao seu crescimento.

Aproximadamente 20.000 espécies de plantas oriundas de 40 famílias podem produzir látex, entre esse número de espécies, cerca de 12.000 contêm borracha em

quantidades, as quais nem sempre conseguem atender às demandas do mercado. Entretanto, a maior parte dessas espécies não é tida como apropriada para a realização da extração para fins comerciais, isso porque um número muito pequeno de plantas consegue produzir látex de qualidade e em quantidades que sejam viáveis para a produção de borracha em uma escala comercial.

O processo de extração do látex pode ser realizado, utilizando-se duas metodologias: uma onde se realiza um corte profundo e espiralado, por onde escorrerá o látex até o recipiente de coleta; e outro onde é feita uma raspagem da casca com o objetivo de abrir pequenas extremidades nos vasos por onde percorre o látex, permitindo-o fluir para fora, ao longo da ranhura inclinada, seguindo em direção ao recipiente de coleta. O nome empregado para essa metodologia é Ridley. Esse nome foi empregado em homenagem a seu inventor, sendo esta técnica aprimorada posteriormente para atender às exigências da indústria. Segundo Natural Rubber Materials (2013) a vantagem de se trabalhar com o método desenvolvido por Rildley é que o látex será interrompido após um tempo, devido à coagulação do látex na incisão. Esse fenômeno ocorre pelo mecanismo de defesa da planta, favorecendo a produção de látex de boa qualidade. A Figura 5 mostra a produção de borracha natural a partir da seringueira.

Figura 5 - Produção de borracha natural a partir da seringueira (*Hevea brasiliensis*), método antigo (a) e o método Rildley (b).



Fonte: Kabara et al, (2006).

1.2.1.2 Elementos não-Borrachas presentes na borracha natural

O látex fresco proveniente da borracha contém cerca de 30-40% de hidrocarbonetos de borracha, normalmente referido ao teor de borracha seca (Dry rubber contente-DRC). No entanto, o teor de sólidos global (Total solid contente -TSC) é maior

do que o DRC, isso por que cerca de 5% dos elementos que não contêm borracha estão presentes no látex fresco. A quantidade de DRC e elementos não borracha presentes no látex pode variar devido a fatores como: tipo de clone, condições do solo e do clima, estação do ano, tipo de fertilizante usado. Os principais elementos não borrachas são: lipídios, proteínas e aminoácidos, minerais e carboidratos como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição látex in natura

Componentes	Porcentagem (%)
Hidrocarbonetos de borracha	36.0
Proteínas, aminoácidos e compostos nitrogenados	1.7
Lipídios	1.6
Cinza	0,5
Inósitos e carboidratos	1.6
Água	58.6

Fonte: Natural Rubber Material (2013)

A maior parte dos elementos não borracha está adsorvida na superfície das partículas de borracha, dissolvidos ou mesmo suspensos no soro aquoso. Durante o processo de coagulação, esses elementos ficam entrelaçados fortemente com a molécula de borracha ou co-precipitado, devido à baixa solubilidade no meio aquoso em que se encontram (BOWERS et al, 1990).

1.2.1.3 Processo de centrifugação e concentração do látex

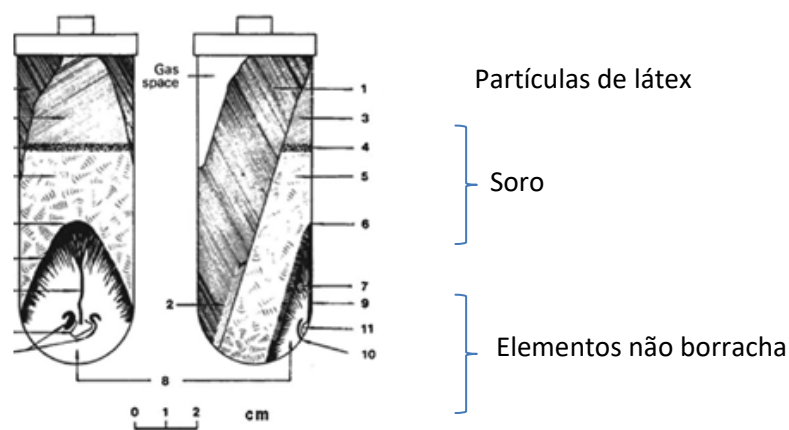
Quando o látex é extraído das seringueiras na área de plantio, normalmente ele é denominado látex do campo, caracterizando-se como uma solução aquosa com partículas de látex. Essa dispersão aquosa, ou látex in natura, é constituída de várias substâncias, principalmente por: carboidratos, fosfolipídios, proteínas de borracha, íons metálicos, magnésio e cálcio presentes em menores concentrações, conhecidos coletivamente como os elementos não borrachas (KAWAHARA, et al, 2004).

Segundo Moir (1959), a maior parte destes elementos é solúvel na fase aquosa, alguns são adsorvidos sobre a superfície da partícula de látex. Os fosfolipídios e algumas proteínas de borracha de látex são adsorvidos sobre a superfície da partícula de látex. A estabilidade do látex está relacionada às cargas negativas presentes na solução aquosa, pois elas mantem seu PH em torno de sete, fator essencial para manter a

estabilidade do látex. A maior parte das borrachas não dissolvidas na fase aquosa são hidratos de carbono e proteínas solúveis. Estes elementos precisam ser removidos antes que o látex seja utilizado para aplicações industriais.

Ainda conforme Moir (1959) a borracha natural ou látex fresco pode ser separado em frações por ultracentrifugação de alta velocidade. Os elementos não borracha presentes no látex in natura são considerados como elementos contaminantes e que são prejudiciais à qualidade dos produtos feitos a partir deles. Este fato é particularmente verdade quando se trata da presença de proteína para produção de luvas médicas. A Figura 6 mostra as frações separadas de partículas de borracha de látex e elementos não borracha.

Figura 6 - Processo de ultracentrifugação do látex



Fonte: Moir (1959).

O processo de centrifugação e purificação do látex do campo é, portanto, absolutamente necessário antes que o látex seja usado tecnicamente como matéria-prima.

1.2.1.4 Modificação química do látex

A modificação química da borracha natural (látex), normalmente é realizada através de três processos principais, sendo eles: modificação pelo rearranjo das ligações atômicas sem a introdução de novos átomos, podendo ser do tipo *cross-link* carbono-carbono, ciclização, *trans isomerisation* e despolimerização; modificação por ligação de novos grupos químicos e agregação de um segundo polímero à estrutura da borracha natural.

A borracha ciclizada é obtida pela doação de prótons de reagentes como ácido sulfúrico, cloreto de estanho ou através de seu aquecimento, deixando-a com aspecto endurecido e quebradiço, apresentando baixo comportamento elástico. Este tipo de borracha é bastante usado em adesivos e em tinta de impressão, como também misturada à borracha natural, com objetivo de melhorar seu módulo de dureza.

A modificação por ligação de novos grupos químicos é realizada pela adição ou substituição das ligações olefínicas duplas, resultando na formação de blendas do tipo clorada, hidrocioradas e epoxidada. A borracha clorada pode ser utilizada como matéria-prima para a fabricação de tintas de alto desempenho devido a sua resistência contra ácidos e compostos alcalinos, desgaste, envelhecimento e resistência à corrosão da água do mar, (Hashim e Jesyy, 2002).

No processo de agregação de um segundo polímero sobre a espinha dorsal da borracha natural, adiciona-se monômeros vinílicos como metil metacrilato (MMA) e estireno. A borracha natural submetida ao processo de agregação de um novo polímero apresenta teor de metil metacrilato, variando entre 60-80%, esse processo melhora a resistência à abrasão e elétrica. Ele é usado para melhorar as propriedades de impacto de poliestireno, em misturas com borracha natural e também como agente de reforço (Wititsuwaannakul, et al, 2004).

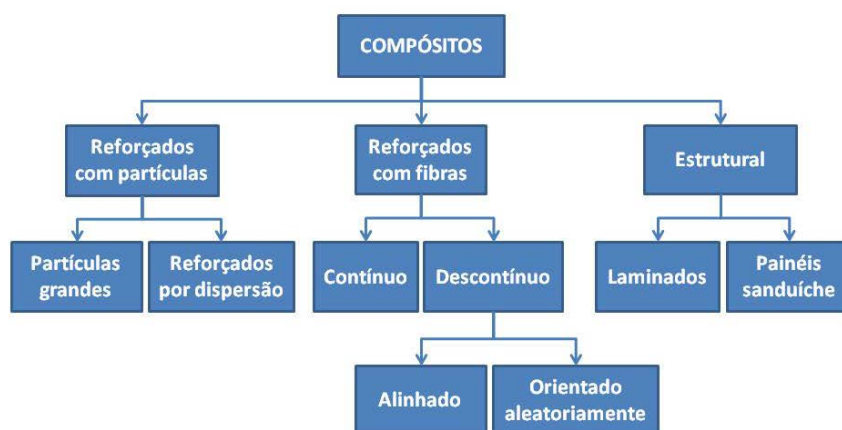
1.2 MATERIAIS COMPÓSITOS

O significado mais comum para compósito é que ele seja formado por dois ou mais materiais que tornem possível a obtenção de um novo material, às vezes, com propriedades e qualidades superiores aos materiais que o constituem, para isso, seus componentes precisam ser diferentes quanto a sua composição química e forma, além de serem obrigatoriamente insolúveis um no outro, formando duas fases distintas. Um dos componentes presentes nos compósitos é chamado de fase de reforço, normalmente distribuído na matriz por ser mais rígido e resistente, atuando como um reforço à matriz polimérica. O outro componente denominado matriz é responsável pela aglutinação do reforço e pela transferência das tensões impostas ao compósito para a fase reforço (LEVY NETO; PARDINI, 2006). Estes componentes são combinados em nível macroscópico e não são solúveis entre si (FONSECA, 2005).

Os compósitos, dependendo de sua aplicação, podem substituir materiais como aço, alumínio dentre outros metais, já as madeiras podem ser substituídas em aplicações de uso geral na fabricação de utensílios domésticos e móveis. A indústria, de maneira geral, vem utilizando, amplamente, compósitos em muitos de seus produtos, reduzindo significativamente a quantidade de matéria-prima utilizada em seus sistemas de produção.

Os materiais compósitos são classificados em relação a sua estrutura como também sua fase de reforço, sendo dividido em três principais segmentos: compósitos reforçados por partícula, compósitos reforçados por fibra e compósitos estruturais. Entretanto existem duas subdivisões para cada um desses segmentos principais. A Figura 7 mostra o fluxograma para a classificação dos compósitos.

Figura 7 – Classificação dos compósitos



Fonte: Adaptação Callister (1991).

Os compósitos reforçados com partículas grandes e por dispersão podem ser distintos pelo mecanismo de reforço e aumento da resistência mecânica proporcionada pelo tipo de reforço, outro aspecto que pode ser citado em relação a estes dois tipos de reforço seria o tipo de interação existente entre matriz e partícula, ocorrendo a nível macroscópico no primeiro caso e microscópico no segundo. Os compósitos reforçados com fibras seguem padrões contínuo e descontínuo de dispersão do enchimento na matriz. As propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras dependem das características e propriedades das fibras empregadas, como também do seu posicionamento em relação ao eixo axial do compósito. Já os compósitos com reforço estrutural, normalmente são constituídos tanto de materiais homogêneos como também

de materiais compósitos. As propriedades mecânicas destes desse tipo de compósito dependem do projeto geométrico elementos estruturais envolvidos em sua etapa de fabricação como das propriedades dos materiais que o constitui.

O desenvolvimento e fabricação de compósitos poliméricos e com matrizes termofixas compreendem etapas como mistura dos reforços ou partículas com o aglutinante, moldagem e compactação. Dentre estas etapas destacam-se ainda: a aplicação dos materiais nas fôrmas, o controle de pressão e temperatura necessária à cura da resina e compactação das partículas. Algumas características como o tempo em aberto, viscosidade e temperatura de cura devem ser observadas durante a fabricação dos compósitos. As variáveis que mais se associam com a conformação do enchimento são: o teor de fibras, seu comprimento e sua seção transversal, como também a quantidade de matriz empregada. Algumas variáveis como pressão, temperatura e detalhe das formas devem ser monitoradas e controladas, visando à obtenção de um material que atenda às necessidades de aplicação prevista (HILL, 2010).

Segundo Ortega et al. (2010),

Os compósitos poliméricos são fáceis de moldar, permitem formas complexas sem emendas, podem ser moldados na cor final do produto, permitem ótimo acabamento e são leves, dessa forma é possível obter materiais com qualidades superiores quando comparados a um material que utiliza um único componente.

O desenvolvimento e fabricação de novos materiais a partir da adição de fibras vegetais e resíduos de madeira, visando à substituição das fibras sintéticas em compósitos poliméricos vêm ganhando espaço na indústria de materiais, um dos motivos associados a este crescimento seria a diminuição do uso de materiais originários de fontes não renováveis. Conforme Passos, (2005) o aprimoramento tecnológico necessário à fabricação dos compósitos reforçados com fibras vegetais, tem tornado os compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas cada vez mais competitivo em relação aos materiais plásticos.

A produção de compósitos, utilizando fibras vegetais e resíduos de madeira, está intrinsecamente ligada aos diferentes tratamentos que podem ser aplicados às fibras, tornando-as mais resistentes e estáveis dimensionalmente, como também menos higroscópica. De acordo com Motta (2005), algumas reações de degradação na presença de ácidos, radiação ultravioleta e bases, como também problemas de instabilidade dimensional, biodegradabilidade e inflamabilidade, podem ser prevenidas ou pelo

menos reduzidas, alterando-se os elementos das paredes das fibras. Com isso, as propriedades de qualquer material estão relacionadas com etapas de processamentos empregadas em seu processo de fabricação, como também de sua composição química (ROWELL, 1997). Segundo Bisanda (1991) a mercerização torna as características adesivas das fibras muito melhor, através da remoção das partículas de impureza presentes em sua superfície, aumentando área superficial efetiva disponível para o contato com a matriz.

Foruno et al. (1991) descreveram a mineralização da biomassa vegetal, como sendo um método adequado para o aumento da durabilidade, estabilidade dimensional, resistência aos fungos e ao fogo, aplicando-se alguns elementos como o silicato de sódio (water glass) em combinação com o sulfato de alumínio e o cloreto de cálcio às fibras. Os tratamentos citados anteriormente quando aplicado às fibras orgânicas possibilita seu uso de forma diversificada, adequando suas propriedades ao tipo de compósito a ser desenvolvido.

Compósitos denominados fibrocimentos vêm sendo estudado e fabricado a partir da mistura de cimento, fibras vegetais (de bananeira, sisal, coco, eucalipto ou outras plantas), sintéticas e resíduos siderúrgicos. Ensaio mecânicos de tração, testes físicos de permeabilidade, densidade e absorção de água, comprovaram a eficiência do produto em substituição ao fibrocimento tradicional, além de apresentar algumas vantagens, entre elas, a maior capacidade de isolamento térmico, leveza e durabilidade equivalente ao fibrocimento com asbesto. Calcula-se que a produção de compósitos cimentos reforçados com fibras celulósicas ultrapassa três milhões de toneladas ano. A maior parte desta produção está localizada, nos EUA, na Europa, na Oceania e na Ásia (HEINRICKS et al., 2000).

1.2.1 Compósitos de borracha

Ambas naturais e sintéticas o uso da borracha para a produção de compósitos reforçado com resíduos de madeira bem como com fibras naturais vem sendo cada vez mais empregado pela indústria para manufatura de diversos itens, tais como: mangueiras, almofadas, luvas, selos, cintos, equipamento de mergulho, e tubos medicinal (ISMAIL; ROSNAH N; ROZMAN; 1997).

As matrizes termorrígidas usadas com maior frequência para a produção de compósitos são: poliéster, epóxi e as resinas fenólicas (PANTHAPULAKKAL; LAW; SAIN 2005). Já as matrizes termoplásticas são: Polipropileno (PP), Polietileno (PE) e Poliestireno (OS). Entretanto, o uso do látex como matriz vem sendo amplamente estudado para a produção de compósitos reforçados com fibras naturais (JACOB, VARUGHESE E THOMAS, 2007; GEETHAMMA et al., 1198; ICHAZO et al., 2006). Comparadas com as matrizes termorrígidas, as matrizes termoplásticas possuem inúmeras vantagens, incluindo maior tempo de estocagem, mais fáceis de serem moldadas, apresentam maior resistência, menor custo de processamento, baixa densidade, transparência e possibilidade de reciclagem (FUNG et al., 2003).

Os principais efeitos do uso do látex como matriz polimérica termoplástica sobre as propriedades mecânicas dos compósitos produzidos são: aumento do módulo de elasticidade, diminuição do alongamento à ruptura, resistência à deformação, como também o melhoramento da resistência ao rasgo e resistência à perfuração.

A serragem de madeira e as fibras lignocelulósicas podem ser agregadas facilmente às matrizes elastoméricas para a produção de compostos de borracha. Normalmente os processos mais utilizados para a produção de compósitos de borracha são: moldagem por compressão, moldagem por injeção e extrusão (KOHJIYA; IKEDA; 2014).

Embora estes compósitos apresentem uma boa resistência ao rasgo e estabilidade dimensional durante seu processo de fabricação, algumas questões relacionadas à compatibilidade de adesão interfacial entre o látex e serragem de madeira ou de fibra vegetal, devem ser levadas em consideração, uma vez que as propriedades mecânicas dos compostos produzidos estão diretamente relacionadas com a interação existente entre estes materiais (BLEDZKI; REIHMANE; GASSAN 1998). De maneira geral, os problemas associado à incompatibilidade entre as matrizes elastoméricas e os reforços a partir de fibras vegetais, estão associados à natureza hidrofóbica do látex e hidrofílica das fibras (ESPET; VILAPANA; KARLSSON 2004).

Alguns tratamentos são empregados nos materiais utilizados para a produção de compósitos borracha, visando melhorar sua miscibilidade e compatibilidade entre a borracha e os resíduos de madeira ou fibra vegetal (KAZAYAWOKO; BALATINECZ J; MATUANA 1999). Geralmente, o tipo de modificação empregada nestes materiais faz parte de duas categorias: tratamento físico e tratamento químico.

Segundo Thakur (2013) os compósitos produzidos com elastômeros reforçados com fibras vegetais vêm recebendo uma atenção especial da indústria de maneira geral, isso por que, o custo de processamento e fabricação dos compósitos utilizando estes materiais é menor em comparação a utilização de materiais sintéticos.

Ford (2011) realizou estudos relacionados à reutilização de resíduos gerados por uma indústria de remodelagem de pneu e látex para a produção de compósitos com características de isolamento térmico. Os resultados obtidos pelo estudo deste material revelou que este tipo de compósito é adequado para este tipo de aplicação.

Da mesma maneira, Abdel Kader et al. (2012) analisou as características de isolamento térmico de compósitos fabricados com resíduos de borracha e látex em diferentes concentrações, promovendo uma alternativa adequada à utilização e reaproveitamento de oriundos de cadeias produtivas onde a borracha é utilizada como matéria prima.

Jacob et al. (2006) utilizaram tecido de fibra de sisal tratado quimicamente e borracha natural para a fabricação de compósitos, avaliando seu desempenho quando submetido a esforços e cargas.

Semelhantemente Ghedan e Hamza (2011) constataram que a utilização da borracha na preparação de concreto, melhora sua propriedade de isolamento térmico, sendo necessária a utilização de silano ao látex no intuito de minimizar problemas relacionados ao baixo módulo de compressibilidade, provocado pela adição da borracha no concreto.

Inúmeros materiais lignocelulósicos foram utilizados como fase de reforço para a produção de compósitos de borracha (ZHOU et al., 2015). Abaixo, destacam-se no Quadro 1 alguns tipos de fibras vegetais e matrizes elastoméricas, como também seus respectivos autores.

Quadro 1 – Compósitos de borracha e fibras vegetais e serragem de madeira.

Enchimento	Matriz	Autores/Ano de publicação
Madeira em pó	Borracha natural Borracha de etileno-propileno-dieno Borracha de butadieno estireno Borracha de pneus inservíveis	Lin et al., 2004. Yamsaengsung e Sombatsompop, 2009.
Pó de oliva	Borracha nitrílica carboxilada	Mousa et al., 2012.
Pó da casca de amendoim	Borracha natural	Sareena et al., 2012.
Fibra de bambo	Borracha natural	Ismail et al., 2002.
Fibra de coco	Borracha natural	Haseena et al., 2007. Geethamma et al., 2005.
Fibra de cânhamo	Borracha natural Borracha de partícula de pneu	Kakroodi et al., 2013. Osabohien e Egboh, 2008.
Fibra de sisal	Borracha natural Borracha de pneu	Haseena et al., 2007. Martins e Mattoso, 2004.
Fibra de juta	Borracha natural	Rahman et al., 2012.
Fibra de algodão	Borracha natural	Zeng et al., 2010.
Papel de jornal	Borracha natural Borracha nitrílica	Nashar et al, 2004.
Celulose microcristalina	Borracha de butadieno estireno Borracha de polibutadieno	Bai e Li, 2009

Fonte: Adaptada de ZHOU et al. 2015.

1.3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico experimentado por uma pessoa em determinado ambiente está associado a fatores como: temperatura média radiante, umidade relativa, velocidade relativa do ar, como também com as roupas usadas pelas pessoas no momento em que está sendo feita a análise do conforto. Entretanto, a sensação de conforto térmico é subjetiva, ou seja, pode variar de um indivíduo para outro, de maneira que um ambiente pode estar termicamente confortável para uma pessoa e desconfortável para outra. Dessa forma, pode-se afirmar que as condições ideais de conforto térmico serão aquelas que propiciem bem-estar ao maior número de pessoas (LAMBERTS et al., 2014).

Em ambientes onde as pessoas passam mais tempo, o conforto térmico deve ser visto não só como um fator de conforto, mas sim de saúde e segurança, visto que as

condições de conforto do ambiente influenciam não só no rendimento dos indivíduos, como também em sua produtividade e até nas taxas de acidentes (VECCHI, 2015).

1.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS

A propriedade térmica dos materiais está relacionada à resposta ao estímulo térmico que os materiais expressam quando a energia térmica (calor) atua sobre o mesmo. A propagação da energia térmica nos sólidos se dá pelo fluxo de energia vibracional dos átomos, como também através da energia cinética dos elétrons livres dos átomos, presentes na estrutura dos materiais. À medida que os materiais absorvem energia térmica, sua temperatura se eleva aumentando a energia interna (HOLMAN, 2010). Algumas propriedades térmicas podem ser citadas: dilatação ou expansão térmica; condutividade térmica; calor específico; resistência ao choque térmico.

1.5 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Segundo Incropera et al. (2008) transferência de calor é “o trânsito de energia é provocado por uma diferença de temperatura”, onde o fluxo de energia térmica segue o sentido da região de maior temperatura para a região de menor temperatura.

A troca de calor entre os materiais pode acontecer por meio de condução, radiação e convecção, entretanto, devem ser levadas em consideração algumas propriedades térmicas como: transmissividade térmica, refletividade e absorvidade dos materiais (MICHELS et al., 2009).

Quando a troca de calor entre os corpos acontece sem a mudança do estado físico, esse tipo de transferência é chamado de troca seca, onde o fenômeno pode acontecer por meio da condução, radiação e convecção, e o calor envolvido neste processo é denominado como calor sensível (GORDON e WYLEN, 2000). Já para os processos de troca de calor que envolve mudança de estado físico ou agregação do material, ou elemento envolvido no fenômeno, a exemplo das trocas úmidas, o calor envolvido neste tipo de troca é denominado de calor latente, e seus mecanismos são: evaporação e condensação (FROTA; SHIFFER, 1988).

✓ Transferência de calor por condução

No processo de transferência de calor por condução, se faz necessário que as superfícies com diferentes temperaturas estejam em contato físico direto, dessa forma a superfície de maior temperatura irá perder calor para a superfície de menor temperatura, (INCROPERA et al., 2008). O fluxo de calor que está em trânsito através de um material está relacionado com a área e espessura, os componentes que o constituem, como a diferença de temperatura entre a fonte emissora e o material. A condutividade térmica (k) de um material é a grandeza física, que indica se o material é bom ou mal condutor de calor. A equação da taxa de transferência de calor por condução é descrita como Lei de Fourier, que relaciona as grandezas envolvidas na transferência de calor por condução (REYNOLDS, 1986).

A condutividade térmica dos materiais está associada a questões que constituem o material, de sua área e espessura, como também do coeficiente de condutividade térmica do material, normalmente representado pela letra (k). De maneira geral, a porosidade dos materiais pode influenciar de forma significativa a transferência calor, reduzindo sua condutividade térmica, isso porque a troca de calor através dos poros é normalmente lenta e ineficiente devido à presença de ar preso no interior desses poros, o qual apresenta baixa condutividade térmica, em torno de $0,02 \text{ W/m-K}$. Outro aspecto a ser citado em relação à baixa transferência de calor nos materiais porosos seria a ineficiência de convecção gasosa no interior dos poros dos materiais, tornando a troca de calor de uma região de maior temperatura para outra de menor temperatura ineficiente (SPIRIDONOV e ORLOVA, 2003).

✓ Transferência de calor por convecção

A troca de calor por convecção pode ser definida como o movimento ascendente e descendente de fluidos e gases com temperaturas diferentes, provocando o transporte de massa e energia da zona de maior temperatura, normalmente com movimentos ascendentes para a zona de menor temperatura como movimentos descendentes (ÇENGEL, 2003); (KREITH, 1973).

O processo de transferência por convecção pode ser natural ou forçado. Na convecção natural o movimento do fluido acontece devido à mudança da densidade do fluido em decorrência do aumento de sua energia interna. Já para a convecção forçada, o fluido é descolado, utilizando-se de equipamentos mecânicos como: bombas ou ventiladores (BEJAN et al., 1996).

A grandeza física que representa a transferência de calor por convecção é (h_c) , em $W/m^2 \cdot K$. Os valores referentes à convecção térmica estão diretamente relacionados às características dos fluidos e as condições em que estes estão submetidos, como: a natureza do fluido, sua velocidade, rugosidade da superfície em que este está em contato, como também o tipo de convecção existente no fenômeno (KREITH, 1973).

✓ Transferência de calor por radiação

A transferência de calor por radiação térmica pode ser definida como o fluxo de energia emitido por um corpo, desde que este apresente uma temperatura superior a 0° Kelvin, ou seja, esteja a uma temperatura acima de $-273^\circ C$. No processo de troca de calor por radiação térmica, a emissão energética acontece através de ondas eletromagnéticas, devido a algumas mudanças de oscilações ou transições nas configurações dos átomos. A radiação térmica apresenta espectros de comprimentos de ondas que podem variar de $0,1$ a $100\mu m$, incluindo a radiação ultravioleta, radiação visível e infravermelha (INCROPERA, 1998).

1.6 ISOLAMENTO TÉRMICO

O processo de isolamento térmico pode ser definido como a forma ou método pelo qual cria-se uma resistência à dissipação de calor de um corpo. A forma como o calor se propaga entre as fontes e seus receptores, formando um gradiente de temperatura, está relacionada com diversos fatores, como as propriedades e características dos materiais submetidos à presença de calor, assim como também da taxa de troca de energia térmica (KERN, 1977).

A aplicação de materiais de baixa condutividade térmica (k) visa à conservação de energia térmica dos corpos aquecidos ou resfriados, a exemplo de linhas de vapor, paredes de um forno ou de um refrigerador, este procedimento pode ser denominado de isolamento térmico. Dessa forma, o isolamento térmico de um corpo ou ambiente tem

como principal objetivo diminuir o fluxo de calor desses corpos por questões de ordem técnica, econômica ou ergonômica.

Abaixo são descritas algumas características que devem ser levadas em consideração para a escolha de um bom isolante térmico:

- ✓ Pequeno valor de coeficiente de condutividade térmica (k). Quanto menor o k , menor será a espessura necessária para o material isolante.
- ✓ Reduzida capacidade higroscópica. Em situações onde o material isolante irá trabalhar em ambientes cuja temperatura seja inferior a 10°C , pode provocar a mudança de estado da água absorvida pelo material consequente, aumentando o seu volume, o que poderá favorecer o surgimento de ruptura nas paredes internas dos isolantes, reduzindo suas propriedades mecânicas.
- ✓ Baixa densidade. Em determinadas situações, quanto menor a densidade do material isolante, menor será o custo com a logística, processamento e instalação do mesmo.

1.6.1 Materiais naturais para isolamento térmico

Os materiais naturais na para serem considerados eficientes do ponto de vista de isolamento térmico, precisam apresentar desempenho térmico semelhante aos materiais tradicionais utilizados no mercado. Entretanto, as características como também as propriedades físicas de muitos destes materiais naturais ainda não foram totalmente conhecidas em termos de desempenho térmico, indicando que o emprego desses materiais ainda não atingiu um nível adequado de maturidade técnica e comercial.

Existe uma grande variedade de materiais naturais que pode ser utilizado para aplicações térmicas, a exemplo das fibras naturais. É possível encontrar esses materiais em abundância na natureza, como também disponíveis no mercado para serem comercializados. Os mais utilizados são: fibra de coco, cânhamo, serragem de madeira, sisal, fibras de bagaço de cana.

Do ponto de vista da sustentabilidade, quanto menos tratados são os materiais, melhores eles são isso porque são necessárias poucas etapas de processamento durante sua produção, diminuindo o gasto com insumos durante esse processo. Normalmente, os materiais de origem local são preferidos por causa da economia de energia durante a

etapa do transporte. Outro fator interessante quando utilizamos as fibras naturais em produto, é que esta prática contribui para a diminuição da alteração do clima, devido à absorção de CO₂ durante o crescimento da planta (PERVAIZ, 2003).

É possível utilizar uma variedade de materiais reciclados para a produção de placas de isolamento térmico como, por exemplo, resíduos de plástico e borracha, aparas de metal e aglomerados têxteis. Esses materiais reciclados podem ser misturados com tamanhos diferentes a uma matriz aglutinante, conforme o desempenho desejado.

As desvantagens dos materiais naturais estão relacionadas à baixa resistência aos fungos e parasitas, fogo e altas temperaturas quando comparados com alguns materiais tradicionais. Além disso, a utilização de materiais naturais para produção de placas para isolamento térmico normalmente está associada a um tratamento químico, o qual aumenta seu impacto ambiental. Uma série de produtos naturais vem sendo desenvolvida e recentemente testada para fins de aplicações de isolamento térmico. A Tabela 3 mostra a condutividade térmica de materiais naturais e tradicionais sintéticos industrializados, comparando-os entre si.

Tabela 3 – Condutividade térmica de materiais naturais e tradicionais sintéticos industrializados.

Nº	Material	Condutividade Térmica (w/mK)
1	Cânhamo	0,04
2	Kenaf	0,044
3	Fibra de coco	0,043
4	Lã de ovelha	0,044
5	Celulose	0,037
6	Lã de vidro	0,04
7	Lã de rocha	0,045
8	Poliestireno expandido	0,031
9	Espuma de EVA	0,08 – 0,12

Fonte: Desarnaulds (2005)

1.6.2 Materiais sintéticos para isolamento térmico

A espuma de EVA e a lã de vidro foram selecionados pelo fato destes materiais serem bastante utilizados em diversos tipos de indústria, normalmente utilizados como isolantes térmicos. Na indústria da construção civil estes materiais são utilizados como isolantes térmicos de paredes e pisos, devido suas características e propriedades físicas apropriadas a este tipo de aplicação. A espuma de EVA e a lã de vidro são descritos a

seguir abordando aspectos relacionados à sua composição química, processo de fabricação, como também mostrando sua importância como materiais versáteis os quais podem ser empregados em diversas atividades industriais.

Espuma de EVA

O copolímero EVA é considerado um copolímero fabricado a partir de junções aleatórias de sequências de polímeros e mero (acetato de vinila), como também pela utilização de ativadores e auxiliares de processo, agente de expansão, cargas, borracha e agente reticulante, (LIMA FILHO, 2008). Entre esses componentes, o mero/acetato de vinila é citado como o material de maior importância na produção da resina de EVA. As propriedades da espuma de EVA estão relacionadas com a quantidade de acetato de vinila presente na mistura, dessa forma, quanto maior a quantidade de acetato mais semelhante ele se torna à borracha e ao PVC plastificado, entretanto, se sua quantidade for baixa ele se assemelha ao polietileno de baixa densidade (LIMA FILHO, 2008). No processo de fabricação da espuma de EVA, os ativadores são materiais citados como responsáveis por reduzir a temperatura de decomposição do esponjado, tornando-a compatível com a temperatura de reticulação da placa de EVA. Já as cargas são utilizadas como elementos de enchimento, e como forma de redução de custo da composição. Normalmente, os lubrificantes são materiais que facilitam seu desmolde, melhoram a dispersibilidade do produto, e também são responsáveis pela diminuição de sua dureza e tempo de mistura.

Algumas propriedades físicas e mecânicas da espuma de EVA podem ser citadas, como: boa tenacidade, atóxico, baixa resistência mecânica, moldável por extrusão e injeção (LIMA FILHO, 2008).

Os resíduos de EVA podem ser reutilizados de inúmeras maneiras pela indústria. Na indústria calçadista a espuma de EVA pode ser reutilizada como carga inorgânica, na produção de calçados e confecção de palmilhas, onde normalmente o material aglutinante utilizado é látex natural (SOARES FILHO, 2005).

A espuma de EVA pode ainda ser reaproveitada como material agregado, tanto para a produção de argamassas, elementos isolantes térmicos e carga na fabricação de compósitos, solados de sapatos, entre outros (MACAMBIRA, 2001). Por possuir características físico-químicas adequadas a diversas aplicações, a espuma de EVA é considerada pela construção civil, como um importante subproduto para fabricação de

novos materiais, isso porque ele apresenta inúmeras vantagens quando comparado com outros subprodutos sintéticos, tais como: são bons isolantes térmicos, possuem boa elasticidade e apresentam boa resistência mecânica (SOARES FILHO, 2005). A Figura 8 mostra uma manta em EVA, para isolamento térmico.

Figura 8 - Manta para isolamento térmico em EVA



Fonte: PORTAL METÁLICA (2014)

Lã de vidro

A lã de vidro é um produto produzido a partir da utilização de dois componentes, a sílica e sódio. Em seu processo de fabricação ambos os materiais são aglomerados às resinas sintéticas formando-se o produto. As etapas de produção da lã de vidro são bem parecidas com as etapas de produção do algodão doce, onde o vidro passa por um processo de derretimento a uma temperatura específica, de forma que ele fique viscoso e fluido, em seguida ele é derramado dentro de um dispositivo, rotacionando em alta velocidade. Ao encostar-se a esta roda, o vidro derretido se “desfia” formando pequenos fios (TECNOTERMO, 2014).

A lã de vidro é um material que apresenta inúmeras vantagens quando se trata de isolamento térmico, abaixo são descritas algumas qualidades relacionadas à utilização da lã de vidro.

- a) É leve, de fácil manuseio e aplicação.
- b) São incombustíveis.
- c) Não favorece a proliferação de fungos ou bactérias.
- d) Não deteriora, nem apodrece (imputrescíveis).

- e) Suporta temperaturas de até 450°C (produtos resinados) e 550°C (produtos isentos de resinas).
- f) Alto poder de isolamento térmica e absorção acústica.
- g) Não absorve umidade.

Lã de vidro como isolante térmico

A lã de vidro é bastante conhecida como excelente isolante térmico isso porque ela possui um baixo coeficiente de condutividade térmica. Essa característica quando combinada com sua espessura e densidade, torna-a um produto extremamente viável para ser aplicado em ambientes industriais, servindo como material isolante para dutos de ar-condicionado, fornos, telhados, caldeiras, e tubulações (ISAR 2014).

Normalmente, os isolantes térmicos são avaliados de acordo com sua resistência térmica, ou seja, são avaliados com a capacidade que ele tem em reduzir a transferência de calor. Quando os projetos de isolamento são elaborados, esses valores são mensurados em laboratório ou através de cálculos, forma mais usual. Dessa forma, para conhecer a resistência térmica que um material oferece à transferência de calor, é necessária sua condutividade térmica e também sua espessura. Quanto mais alta a resistência térmica, mais isolante é o material (PORTAL METÁLICA, 2014). A Tabela 4 mostra alguns valores de resistência térmica da lã de vidro.

Tabela 4 - Valores de resistência térmica da lã de vidro

Material	Densidade Kg/m³	Espessura	Condutividade térmica - K (W/m^o C) Temp. méd. = 24^o C	Resistência térmica - R (m² ° C/W)
Lã de vidro	12	50 mm	0,045	1,11
	20	50 mm	0,038	1,32
	35	50 mm	0,034	1,47
	16	75 mm	0,030	1,67

Fonte: PORTAL METÁLICA (acesso em Agosto, 2014).

CAPÍTULO – 2

2. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

2.1 PLANEJAMENTO FATORIAL 2K

Um experimento fatorial com k fatores contendo dois níveis em cada fator é denominado de experimento fatorial 2k. Essa técnica consiste em realizar testes com cada uma das combinações da matriz experimental, dessa forma podendo mensurar e analisar os efeitos principais e de interação dos fatores que estão sendo investigados, com isso, pode-se avaliar melhor quais variáveis seriam interessantes serem modificadas com o objetivo de maximizar os resultados esperados. (JURAN et al. 1951).

Uma das principais vantagens de utilizar a técnica de planejamento fatorial 2k é justamente a possibilidade de poder avaliar as principais tendências resultantes do experimento, favorecendo as tomadas de decisões de forma a reduzir determinados riscos e falhas em um processo, (OLIVEIRA, 1999; MONTGOMERY, 1991).

Os compósitos produzidos foram analisados em relação à resistência térmica da espuma de EVA e da Lã de vidro por apresentarem baixa condutividade térmica, como também, por serem utilizados pelo mercado como isolantes térmicos de paredes e piso, além de absorverem pouca umidade. Foram produzidos corpos de prova nas espessuras de 9, 15 e 18mm para os respectivos materiais.

Os materiais comparados com os corpos de prova produzidos com serragem de madeira corymbia citriodora e látex foram adquiridos na empresa Isoter Ltda, localizada na cidade de Salvador – BA. Os materiais apresentam as seguintes características: espuma de EVA - estado físico sólido, apresentando odor característico de cera, cor preto; lã de vidro - aspecto fibroso, baixa densidade, taxa de umidade: $\leq 5\%$, coloração

amarelada. As Figuras 9 e 10 mostram os corpos de provas produzidos a partir dos materiais acima citados.

Figura 09 – Corpo de prova em espuma de EVA.

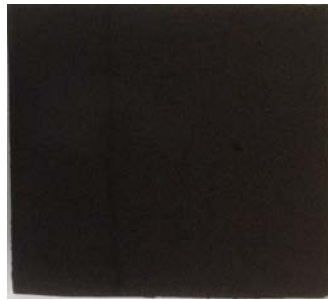


Figura 10 – Corpo de prova em lã de vidro.



2.2 SEPARAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

O processo de classificação granulométrica teve como base a metodologia adotada por Teixeira (2006), no qual os resíduos foram classificados por diferentes máquinas presentes na linha de produção da usina de beneficiamento das toras de eucalipto. A produção de grande quantidade de partículas com tamanhos e características variadas, durante o beneficiamento de uma peça de madeira, foi o principal fator considerado no momento da seleção do sistema para a coleta do resíduo. Dessa forma, a serragem utilizada para classificação granulométrica neste trabalho foi coletada apenas de uma única máquina denominada máquina de desengrosso. A Figura 11 mostra a serragem de madeira *Corymbia citriodora* colhida na máquina de desengrosso.

Figura 11 – serragem de madeira corymbia citriodora



Foram coletados 02 quilogramas de serragem aleatoriamente, no volume de resíduo junto à máquina de desengrosso presente em uma das etapas de beneficiamento da madeira, no Laboratório de Madeiras-LAB MAD, da Universidade Federal da Bahia. Para a etapa de classificação granulométrica da serragem, com base na NBR 5734, utilizou-se um agitador elétrico (Abronzinox AG 59/12), possuindo peneiras com aberturas normatizadas pela ABNT (Peneiras para ensaio de 0,59, 0,84, 2, 4, 6.3, 9.5, 16 e 25 mm). A serragem foi colocada na peneira de maior mesh-25mm e acionado o agitador por um período de 30min de forma que os fragmentos de madeira de menor tamanho fossem transferidos para as peneiras subsequentes. As Figuras 12 e 13 são referentes ao agitador elétrico (Abronzinox AG 59/12), equipamento utilizado para classificar as partículas.

Figura 12 - Agitador de peneiras



Figura 13 - Peneiras



Em seguida, cada amostra foi pesada para o cálculo da porcentagem em relação à massa total obtida na coleta. As peças de madeira que deram origem ao resíduo gerado na etapa de beneficiamento pela máquina de desengrosso apresentavam umidade aparente variando entre (14 a 16%). O percentual de umidade foi obtido utilizando um medidor de umidade digital (marca: Digisystem, modelo: DL 2000). A Figura 14 mostra a pesagem da serragem em balança analítica.

Figura 14 - Pesagem serragem em balança analítica



2.3 TRATAMENTO QUÍMICO DA SERRAGEM POR MERCERIZAÇÃO

Para o processo de mercerização foi utilizado hidróxido de sódio NaOH apresentando as seguintes características: concentração/alcalinidade 99,00%, metais pesados (Pb) \leq 5ppm, NaCL \leq 145ppm. O reagente foi fornecido pelo Instituto de Química da – UFBA. A Figura 15 mostra o reagente hidróxido de sódio NaOH.

Figura 15 – Hidróxido de sódio (NaOH)



A serragem de madeira eucalipto foi submetida à mercerização em solução a 10%. O processo de mercerização envolve algumas etapas como:

Preparo da solução – A solução alcalina foi preparada utilizando-se um becker de um litro, acrescido de água destilada e 100g de hidróxido de sódio NaOH. O hidróxido de sódio foi misturado à água destilada até a ocorrência da homogeneização da solução. A Figura 16 mostra o preparo da solução.

Figura 16 - Preparação da solução de NaOH



Imersão da serragem com granulometria selecionada – Para imersão da serragem selecionada na solução de hidróxido de sódio, a água destilada foi aquecida até atingir a temperatura de 80°C, utilizando-se uma placa aquecedora (modelo: IKA HS7 marca: C.MAG). Após o aquecimento da água, a serragem de madeira eucalipto foi imersa na solução de NaHO por um período de 2h na temperatura acima citada. A Figura 17 mostra a serragem de madeira eucalipto imersa na solução.

Figura 17 – Imersão da serragem eucalipto na solução.



Filtragem e lavagem da serragem – Na etapa de filtragem, o volume total da serragem, tratada pelo processo de mercerização, foi colocado em uma peneira para o

escoamento do excesso da solução de NaOH, em seguida a serragem foi lavada em água corrente para que seu PH ficasse em torno de oito. A Figura 18 mostra o processo de filtragem e lavagem da serragem.

Figura 18: Filtragem e lavagem da serragem



2.4 MODIFICAÇÃO DA MATRIZ (LÁTEX) E PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

O látex industrializado utilizado na produção dos corpos de prova apresenta as seguintes características: ph em torno de 10,63; viscosidade de 53cP; cor esbranquiçada e odor característico de borracha. O látex industrializado foi fornecido pela PAVIM & GONÇALVES LTDA, localizada na cidade de Monte Aprazível-SP. Já o ácido acético e o glicerol foram fornecidos pelo Instituto de Química da UFBA. Os reagentes apresentam as respectivas características: Acido acético glacial - concentração 99%, densidade a 20°C 1.048g/cm³, cloretos 4ppm; Glicerol – estado líquido, densidade 1,261 Kg/m³, peso molecular 92.1gr/mol. As Figuras 19, 20 e 21 mostram os reagentes utilizados no processo de modificação do látex.

Figura 19 – Látex acético



Figura 20 – Glicerol liquido

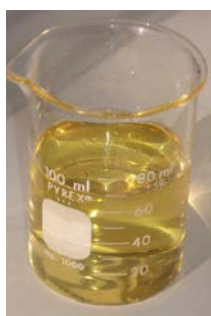


Figura 21 – Ácido acético



A matriz adesiva (látex) foi modificada no intuito de melhorar suas propriedades de adesão. Para processo de polimerização e formação do monômero utilizaram-se alguns reagentes químicos, como: ácido acético glacial e glicerol. A quantidade de 0,01ml de ácido acético foi adicionada à mistura com intenção de acelerar a cura do látex pela catálise ácida, também foi acrescentado 3g glicerol atuando como agente plastificante. A reação ocorreu à temperatura controlada de 50°C por um tempo de 30min, utilizando-se uma placa aquecedora (modelo: IKA HS7 marca: C.MAG) e um recipiente contendo vaselina líquida. O início do experimento ocorreu com a adição do látex dentro do recipiente, o qual permaneceu banhado pela vaselina líquida a uma temperatura de 50°C. Em seguida foi adicionado o glicerol e o ácido acético, sendo aquecidos e agitados por um período de 30min. A Figura 22 mostra o látex sendo modificado conforme descrito acima.

Figura 22 – Reação banho térmico



Foram produzidos de forma preliminar 12 corpos de provas com serragem de madeira curymbia citriodora, sendo seis utilizando serragem tratada e látex modificado e seis com serragem não tratada e látex não modificado, no intuito de observar o comportamento do látex após sua modificação. O traço escolhido foi de 38% de granulometria fina (iguais ou menores que 0,59mm), 33% média (entre 0,59 e 4,76mm) e 29% grossa (variando entre 4,76 e 19,10mm), objetivando um melhor aproveitamento e acomodamento das partículas de menor tamanho, como também para a obtenção de um preenchimento mais uniforme da mistura no molde. A serragem de madeira eucalipto foi misturada a matriz látex modificada e não modificada, nas seguintes concentrações (15, 25 e 35%). A Figura 23 mostra o processo de mistura dos materiais

utilizados na produção dos corpos de prova, pelo misturador elétrico (Arno Planetária), por um período de 3min a uma rotação de 85rpm.

Figura 23 - Mistura da serragem de eucalipto e látex



Os dois tipos de matrizes foram curadas em duas diferentes temperaturas: temperatura ambiente $\pm 26^{\circ}\text{C}$ e a 65°C , utilizando-se uma estufa de secagem (modelo: SOLAB marca. SL 100), por um período de 48h. Na temperatura ambiente $\pm 26^{\circ}\text{C}$ foram curados três corpos de prova produzidos com serragem tratada e látex modificado, e mais três com látex não modificado e serragem sem tratamento. Da mesma forma, se deu para a temperatura de 65°C , três corpos de prova produzidos com serragem tratada e látex modificado e mais três com serragem não tratada e látex não modificado. A Figura 24 mostra um lote de corpos de prova sendo curado a temperatura ambiente, por um período de 48h.

Figura 24 - Moldagem da mistura látex com e sem modificação e serragem, com cura a temperatura ambiente.



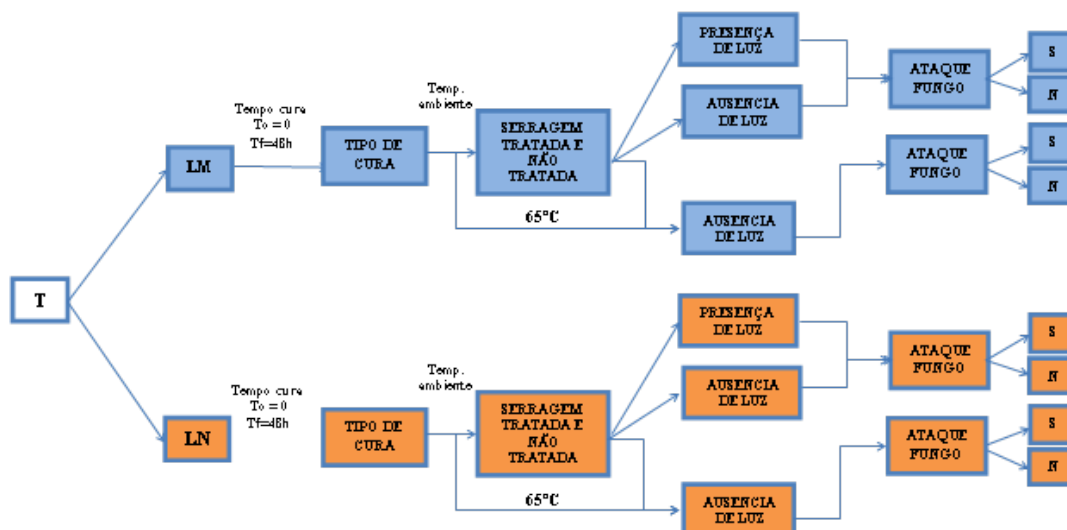
A Figura 25 mostra um lote de corpos de prova, produzidos com látex modificado e não modificado e serragem tratada e não tratada, sendo colocado na estufa para realização de sua cura a temperatura de 65°C , por um período de 48h.

Figura 25 – Etapa de cura dos corpos de prova com látex modificado e não modificado e serragem, com cura a temperatura a 65 °C.



Esses corpos de prova foram deixados à temperatura ambiente $\pm 26^{\circ}\text{C}$ por um período de 48h. Após transcorrido esse período de tempo, foi observado o surgimento de fungos nos corpos de prova com látex modificado, curados nas temperaturas citadas acima. Esse fenômeno motivou a criação de uma árvore de decisão com finalidade de verificar se haveria reincidência do ataque de fungos em corpos de provas feitos com látex modificado e não modificado. Para os dois lotes de corpo de prova (CP), definiu-se o mesmo traço (T) de enchimento para duas matrizes diferentes, uma com látex modificado (LM) e outra com látex natural (LN). A Figura 26 apresenta a árvore de decisão para o sistema de corpos de prova observados.

Figura 26 – Árvore de decisão para látex modificado e látex não modificado



A Figura 26 possibilita o estudo das variáveis presentes no processo de produção dos corpos de prova, levando-se em consideração modificação da matriz (látex) utilizada. Com isso foi possível reafirmar quais fatores estavam relacionados com a proliferação de fungos nos corpos de prova.

Para verificar se a presença ou a ausência de luz influenciava no desenvolvimento de fungos na temperatura ambiente $\pm 26^{\circ}\text{C}$, produziu-se mais 16 corpos de prova, sendo oito com serragem tratada e látex modificado e oito com serragem não tratada e látex não modificado. Foram colocados oito corpos em uma caixa de cimento amianto vedada para impedir a incidência de luz, sendo quatro produzidos com serragem tratada e látex modificado e mais quatro com serragem não tratada e látex não modificado. Os demais corpos de prova foram expostos à presença de luz, sendo quatro com serragem tratada e látex modificado e 04 com serragem não tratada e látex não modificado. Esses corpos de provas permaneceram neste local por um período de 60 dias, sendo observados semanalmente para constatar se haveria ou não a proliferação de fungos.

O uso do glicerol como agente plastificante para a modificação do látex tornou-se inviável para ser utilizado na produção dos corpos de prova, isso porque seu uso na proporção adotada de 3g com reagente tornou-o mais higroscópico e, conseqüentemente, mais propício ao ataque e proliferação de fungo. Em função deste resultado descartou-se o uso do glicerol.

2.5. ANÁLISE FTIR

As análises de FTIR para as amostra de serragem tratada e não tratada, por meio do processo de mercerização foram realizadas utilizando analisador (marca: Shimadzu, modelo: Irprestige-21), com condições de análises: varredura 32 scans, número de onda (4.000 – 400 cm^{-1}), resolução 16 e acessório ATR (PIKE),

CAPÍTULO – 3

3. METODOLOGIA DE ENSAIOS

3.1 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE UMIDADE

O experimento foi realizado com seus parâmetros definidos pelo método de planejamento fatorial 2k, estabelecendo-se as variáveis e seus níveis, como também o número de corpos de prova a ser submetido ao ensaio de absorção de umidade de acordo com a Norma ASTM D 570, optando-se pelo método de absorção de água por imersão de 24h e imersão até saturação.

Para a realização dos ensaios foram produzidos 12 corpos de prova com as seguintes características: dimensões (50x50x6mm); percentual de serragem definido em: (38%, 33%, 29%) de granulometria fina, média e grossa; látex sem modificação variando com percentual em: (15%, 25%, 35%) e serragem tratada e não tratada. Os corpos de prova foram submetidos às seguintes condições: imersos em recipiente com água a temperatura ambiente $\pm 26^{\circ}\text{C}$, permanecendo por um período de 24h, tendo sua massa medida por uma balança analítica (marca: BEL Engineering, modelo Mark L2102i). As Figuras 27 e 28 mostram as etapas do ensaio de absorção de umidade.

Figura 27 – Corpos de prova sendo imersos em água.



Figura 28 – Corpos de prova tendo sua massa medida



Na segunda fase do experimento, os corpos de prova ficaram submersos no recipiente contendo água, tendo sua massa medida a cada 12h até que a diferença do

aumento de massa, em relação à pesagem anterior, fosse menor que 1% indicando sua saturação. A porcentagem do aumento da massa foi determinada de acordo com a equação 2.

$$\% \text{ aumento}_{\text{massa}} = \frac{\text{massa}_{\text{final}} - \text{massa}_{\text{inicial}}}{\text{massa}_{\text{inicial}}} \quad \text{Equação (2)}$$

3.2 ENSAIOS DE EFICIÊNCIA DE ISOLAMENTO TÉRMICO

O experimento foi realizado com seus parâmetros definidos pelo método de planejamento fatorial 2k, estabelecendo-se as variáveis e seus níveis, como também o número de corpos de prova a ser submetido ao ensaio de isolamento térmico. Os ensaios foram realizados com base na adaptação da metodologia utilizada por (BATTISTELLE et al. 2006; IAMAMOTO, H. 2005). O experimento foi dividido em duas etapas, na primeira etapa foi observado o tempo de equilíbrio da temperatura entre as duas faces do compósito, ou seja, o equilíbrio entre a temperatura da face em contato com a fonte emissora de calor e a face posterior à fonte. Dessa forma foi possível estabelecer um tempo ideal para a realização do experimento, para cada corpo de prova e suas respectivas espessuras. Já a segunda etapa foi destinada a observação da eficiência de isolamento térmico dos corpos de prova. O experimento para à avaliação da eficiência térmica se deu utilizando uma placa aquecedora (modelo: IKA HS7 marca: C.MAG), com temperatura ajustada para 90°C, uma caixa revestida com poliéster nas respectivas espessuras dos corpos de prova (09,15 e 18mm), um termopar (modelo: TD870 marca: TYPLES). O início do experimento ocorreu com o ajuste da placa aquecedora à temperatura de 90°C, em seguida, colocou-se o corpo de prova na caixa isolante objetivando a diminuição parcial ou total de troca de calor com o meio ambiente, evitando dessa forma variações nos valores obtidos, em seguida, colocou-se um termopar entre a fonte emissora e a face inferior do compósito e outro em sua face superior. Os corpos de prova foram aquecidos por um período de uma hora, tendo a temperatura da face superior aferida a cada dois minutos. As Figuras 29, 30 e 31 mostram os equipamentos utilizados na realização do experimento.

Figura 29 - Placa aquecedora Ika C-MAG HS 7



Figura 30 - Molde de isolamento térmico

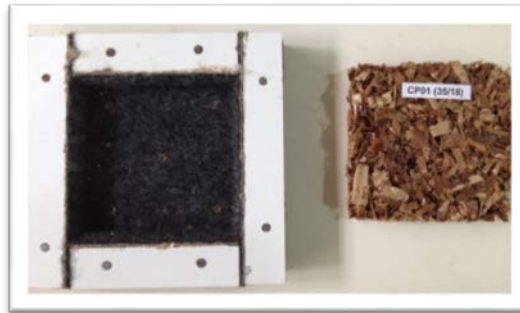


Figura 31 – Termopar



Abaixo é mostrado na Tabela 5, o resultado do planejamento fatorial 2K através do software minitab para os ensaios de resistência térmica.

Tabela 5 - Planejamento fatorial 2K para os ensaios de resistência térmica

Espessura	Latex
09mm	15
09mm	25
09mm	35
15mm	15
15mm	25
15mm	35
18mm	15
18mm	25
18mm	35
09mm	15
09mm	25
09mm	35
15mm	15
15mm	25
15mm	35
18mm	15
18mm	25
18mm	35

Fonte: Autor

CAPÍTULO – 4

4. ANÁLISE E RESULTADOS

4.1 SEPARAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Após o peneiramento observou-se que o resíduo de madeira é composto por granulometria de formas variadas. Do volume coletado aproximadamente 32,2% apresenta-se em formato de pó, com tamanho igual ou menor que 0,59mm, já a serragem com granulometria média, representa cerca de 43,36%, com tamanho variando entre $(0,59 < X \leq 4,76\text{mm})$, o restante da serragem apresenta granulometria grossa com aproximadamente 24,44% do volume coletado e tamanho variando entre $(4,76 < X \leq 25,40\text{mm})$. Estes resultados são semelhantes aos resultados obtidos por Teixeira (2005). A serragem composta pela granulometria grossa não foi utilizada para a produção dos compósitos devido a seu tamanho, ou seja, ela era incompatível com o tipo de aplicação. Do total de 100% do resíduo classificado aproveitou-se 75,56% para o desenvolvimento do produto proposto. No entanto pode-se aproveitar a serragem classificada como granulometria grossa, sendo apenas necessário seu reprocessamento para reduzir sua granulometria. A serragem selecionada para a classificação granulométrica apresentava teor de umidade variando entre (14 a 16%). O percentual de umidade foi obtido utilizando um medidor de umidade digital (marca: Digisystem, modelo: DL 2000). A Tabela 6 mostra os percentuais e o peso da serragem de madeira após o peneiramento, como também a granulometria adotada para confecção dos corpos de prova.

Tabela 6 – Classificação granulométrica

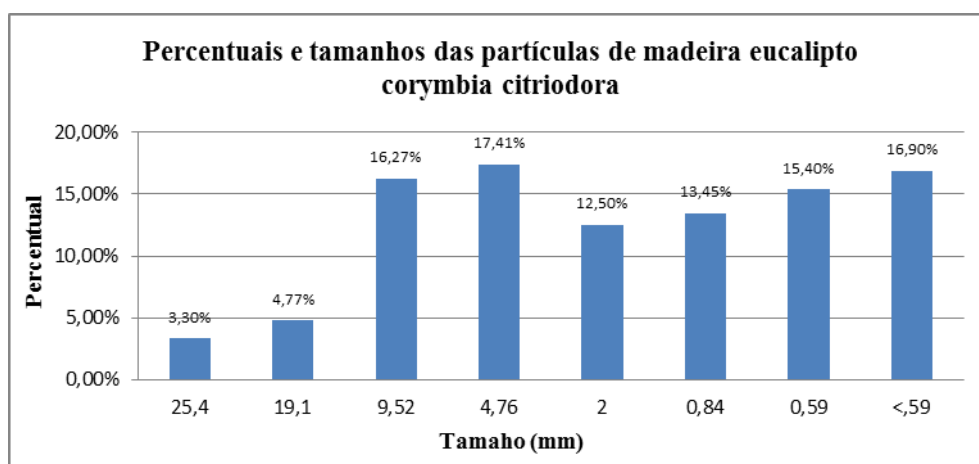
Peneira (mm)	Peso (g)	Percentual (%)
25,40	66,00	3,30%
19,10	95,40	4,77%
9,52	32,54	16,27%
4,76	34,82	17,41%
2,00	25,00	12,50%
0,84	26,90	13,45%
0,59	30,80	15,40%
<,59	33,80	16,90%
Total	20000	100%

Os valores destacados acima foram selecionados após a produção de alguns corpos de prova utilizando a granulometria descrita na tabela 5. Pôde-se com isso observar quais combinações possibilitavam a produção de corpo de prova com aspecto mais homogêneo, visando preencher melhor os espaços vazios no molde, evitando problemas de agregação disforme da mistura, como também a formação de bolsões de ar no interior do compósito.

Optou-se pela composição com serragem de granulometria (<0,59, 4,76, 9,52) devido à obtenção de um compósito com aspecto mais homogêneo, isso porque granulometria selecionada apresenta tamanhos que facilitam a mistura à matriz látex, e sua conformação nos moldes em relação às demais. Já os compósitos obtidos com serragem de granulometria (2,00, 0,84, 0,59) apresentaram problemas de má conformação da serragem nos moldes, gerando problemas de subcamadas onde verificou-se uma maior concentração de partículas 0,59 na face inferior. Dessa forma, as camadas intermediárias e superiores tornaram-se mais porosas devido a uma menor quantidade das partículas mais finas.

A serragem de granulometria (19,10 e 25,40), nos respectivos percentuais (4,77 e 3,30%), foi descartada em razão de suas características e quantidades, ou seja, este tipo de granulometria não é apropriada pra ser utilizada na mistura por ser muito grande em relação à granulometria (<0,59, 4,76, 9,52), além de apresentarem seus percentuais reduzidos comparado com a granulometria selecionada. O Gráfico 1 expressa a classificação granulométrica da serragem de madeira eucalipto corymbia citriodora mostrando seus percentuais e os tamanhos.

Gráfico 1 - Percentuais e tamanhos das partículas de madeira eucalipto corymbia citriodora, gerados pela aquina de desengrosso.



4.2 EFEITOS DO TRATAMENTO QUÍMICO POR MERCERIZAÇÃO NA SERRAGEM

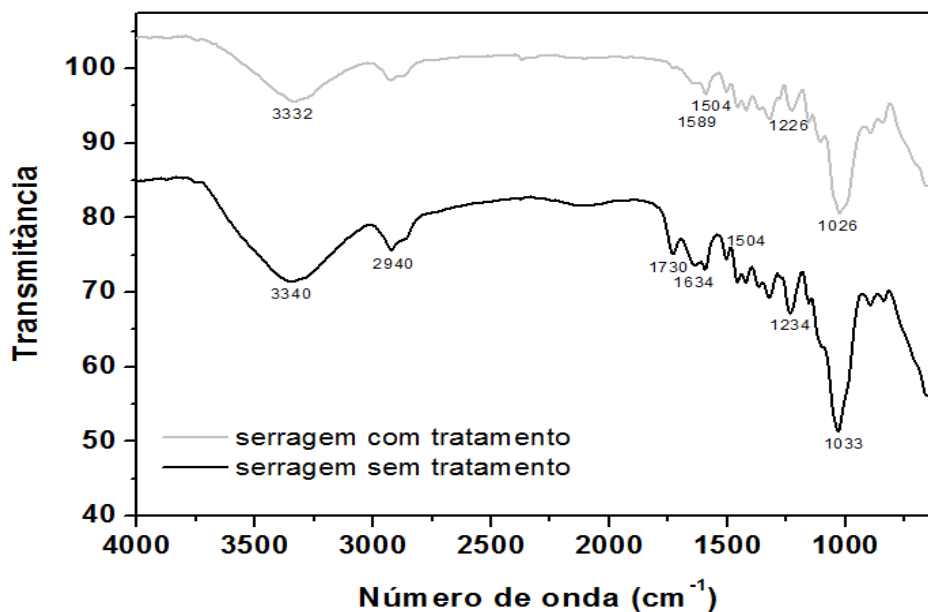
A mercerização utilizada como tratamento químico da serragem induziu de forma parcial a solubilização da hemicelulose e da lignina presentes nas fibras da serragem, através da reação fibra e solução de hidróxido de sódio NaOH a 10%. Estes resultados são semelhantes aos resultados obtidos por Ghali et al., 2008; Tita Et Al. 2002, os mesmos realizaram tratamento químico por mercerização em fibra vegetais e constataram que a mercerização induz a solubilização da hemicelulose e de lignina, além de alterar a cristalinidade da celulose.

Apesar do processo de mercerização ter tornado as fibras menos suscetíveis a absorção de umidade, os resultados dos ensaios de absorção de umidade mostram através dos gráficos uma redução parcial das propriedades higroscópicas das serragens tratadas com hidróxido de sódio NaOH a 10%.

4.2.1 Análise FTIR

O espectro da celulose de eucalipto sem tratamento é caracterizado por uma banda em 3340 cm^{-1} referente ao estiramento vibracional dos grupos OH presentes na amostra. A banda em 2940 cm^{-1} está relacionada ao estiramento C-H alifático dos grupos metila. O pico localizado em 1634 cm^{-1} pode ser atribuído ao estiramento dos grupos carbonila da lignina. Os picos localizados em 1504 e 1458 cm^{-1} estão relacionados ao estiramento da ligação carbono-carbono no anel aromático (C-O-C) da celulose. O pico localizado em 1234 cm^{-1} pode ser atribuído ao estiramento do grupo acetil da hemicelulose com a ligação carbono-oxigênio. A banda em 1033 cm^{-1} pode ser atribuída à deformação angular no plano de ligação carbono-oxigênio. Esses resultados estão de acordo com o trabalho desenvolvido por (SANCHES M. C. et. al 2014). No entanto, estes autores não encontraram o pico localizado em 1730 cm^{-1} , atribuído ao estiramento dos grupos carbonila presentes na hemicelulose, sendo possível observar no presente trabalho.

Figura 32 - Espectros de FTIR da serragem tratada e não tratada



Fonte: Autor

As fibras mercerizadas apresentam espectro similar, porém, o pico localizado em 1234cm^{-1} sofreu diminuição de intensidade e deslocamento para 1226cm^{-1} , o pico localizado em 1634cm^{-1} desapareceu após o tratamento com hidróxido de sódio a 10%, sugerindo que houve redução do grupo carbonila. Pesquisas realizadas por Sanches, Coelho, Futigami e Rocha (2014) sobre mercerização em fibras de bananeira utilizando NaOH a 10% evidenciaram o mesmo tipo de redução nas bandas (1234cm e 1634cm). Além desses resultados, o pico em 1730cm desapareceu após o tratamento alcalino. Esta banda corresponde a estiramentos axial de $\text{C}=\text{O}$ de ácido carboxílicos ou de éster e para Ibrahim et al. (2010) e Liu et al. (2004), a diminuição desta banda infere a remoção de hemiceluloses. A banda em 3340cm diminuiu de intensidade e de largura, indicando que a celulose e hemicelulose foram parcialmente solubilizada comprovando a eficiência do tratamento. O mesmo já foi observado para outras fibras após receber tratamento básico (IBRAHIM et al., 2010).

4.3 MODIFICAÇÃO DA MATRIZ (LÁTEX) E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A modificação da matriz (látex) utilizando o glicerol e o ácido acético por reação química tornou este mais higroscópico, ou seja, deixou-o mais susceptível a absorção de

umidade. Esse fenômeno se deu muito provavelmente pelas propriedades higroscópicas do glicerol como componente da reação. As Figuras 33 e 34 mostram o látex modificado e não modificado após sua cura.

Figura 33 - Látex modificado após a cura



Figura 34 – Látex não modificado após a cura



A Figura 33 mostra o corpo de prova feito com látex modificado após sua cura, apresentando coloração esbranquiçada, flexível e superfície úmida, indicando que a modificação pela reação dos componentes citados acima de fato deixou este propenso à absorção de umidade. Já a figura 34 mostra o corpo de prova com látex não modificado após sua cura, apresentando coloração amarela e superfície seca, sendo este mais rígido em relação ao corpo de prova feito com látex modificado.

Os corpos de prova foram produzidos utilizando serragem de madeira curymbia citriodora com e sem tratamento e látex industrializado modificado e não modificado. Os percentuais de látex variaram nas respectivas quantidades (15, 25 e 35%) apresentaram diferentes características. Foi possível notar que os corpos de prova com a menor quantidade de látex apresentaram um menor peso e uma maior flexibilidade, entretanto os corpos de prova produzidos com os percentuais de 25 e 35% apresentaram menor flexibilidade como também ausência de desfragmentação da serragem aglutinada.

Figura 35 – Compósito com fungos



Figura 36 – Compósito sem fungos

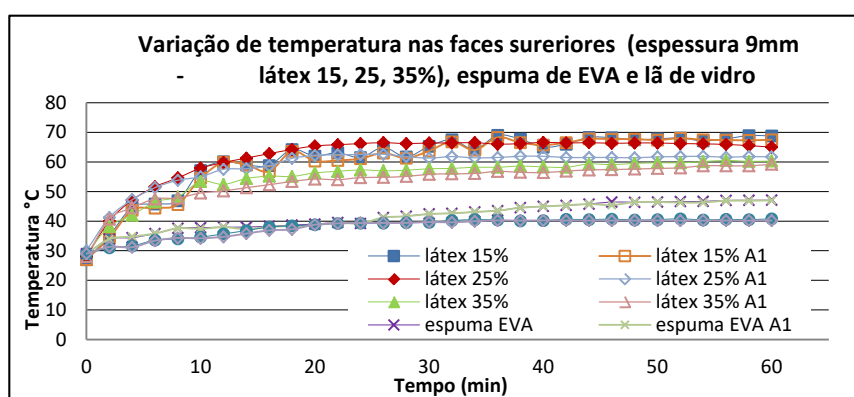


As Figuras 35 e 36 mostram os compósitos produzidos com e sem presença de fungos. Oito dos 16 corpos de provas produzidos com serragem tratada e látex modificado apresentaram proliferação de fungos, tanto na ausência quanto na presença de luz. Os demais corpos de prova feitos com serragem não tratada e látex não modificado não apresentaram o surgimento de fungos. Não foi possível comparar esse resultado com dados da literatura, pois não foi encontrado trabalhos com este objetivo.

4.4 RESULTADOS PLOTADOS PARA O ENSAIO DE EFICIÊNCIA DE ISOLAMENTO TÉRMICO

Os Gráficos 2, 3 e 4 mostram os resultados do ensaio de eficiência de isolamento térmico, realizados nos corpos de prova produzidos com serragem de madeira corymbia citriodora nas seguintes especificações (espessura 09, 15 e 18 mm - látex 15, 25, 35%) e suas duplicatas representadas por (A1). Os gráficos mostram a diminuição da temperatura entre a face inferior do compósito e sua face superior durante o experimento, com início da variação de temperatura no tempo ($T_0=0$), até o tempo final do experimento ($T_f= 60\text{min}$). Observa-se nos gráficos 5, 6 e 7 que não houve grandes variações nos resultados do ensaio de eficiência de isolamento térmico para os corpos de prova e suas duplicatas.

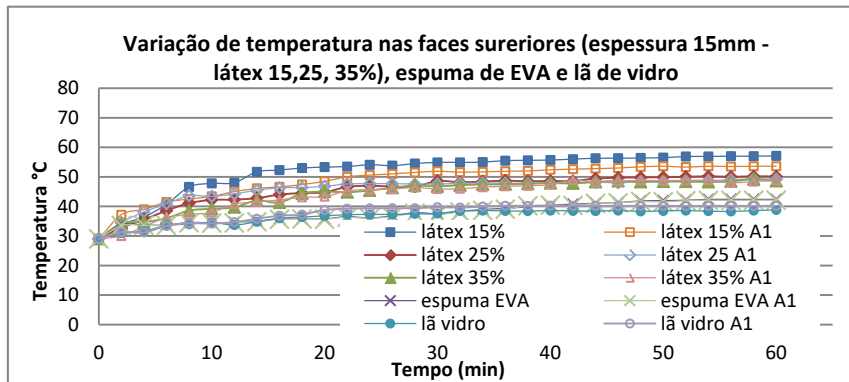
Gráfico 2 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com (espessura 9mm – látex 15, 25,35%), espuma de EVA e lã de vidro.



É possível observar no Gráfico 2 que a média das temperaturas das faces superiores dos compósitos submetidos ao ensaio permaneceu em $\pm 64,80^\circ\text{C}$ em relação à fonte emissora ajustada para 90°C , acarretando em uma redução de $\pm 28,80\%$ da

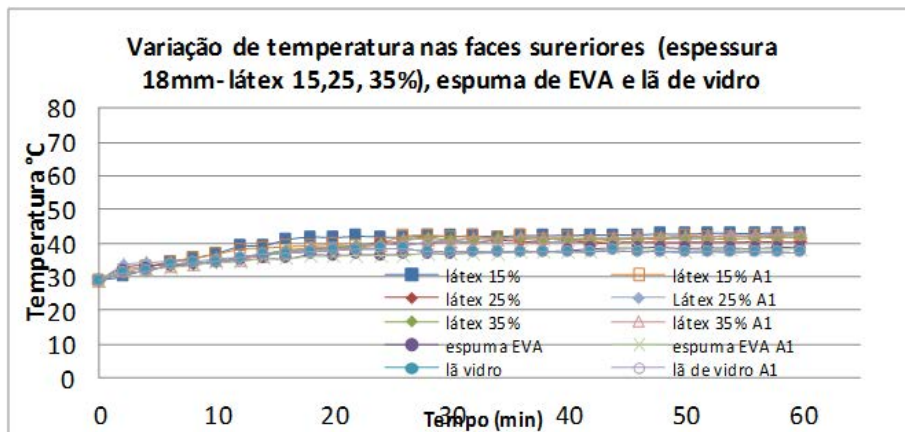
temperatura emitida pela fonte de calor. Já para os materiais comparados (espuma de EVA e Lã de vidro) houve uma redução maior da temperatura em suas faces superiores, como esperado, ficando com temperatura média de aproximadamente 43,50°C, implicando em uma redução de $\pm 51,66\%$, indicando um melhor desempenho relacionado à redução da transferência de energia térmica, uma vez que seus coeficientes de isolamento térmicos são menores que os do látex e da serragem, utilizados na produção dos corpos de prova.

Gráfico 3 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com (espessura 15mm – látex 15, 25,35%), espuma de EVA e lã de vidro.



O Gráfico 3 mostra a mesma tendência à redução das temperaturas nas faces superiores para os compósitos produzidos nas especificações (15 mm e teor de látex de 15, 25 e 35%). É possível observar também que para os corpos de prova com espessura de 15 mm, o aumento das concentrações de látex reflete na eficiência de isolamento em relação aos materiais comparados (espuma de EVA e Lã de vidro) com tendência a uma aproximação aos resultados apresentados por estes materiais.

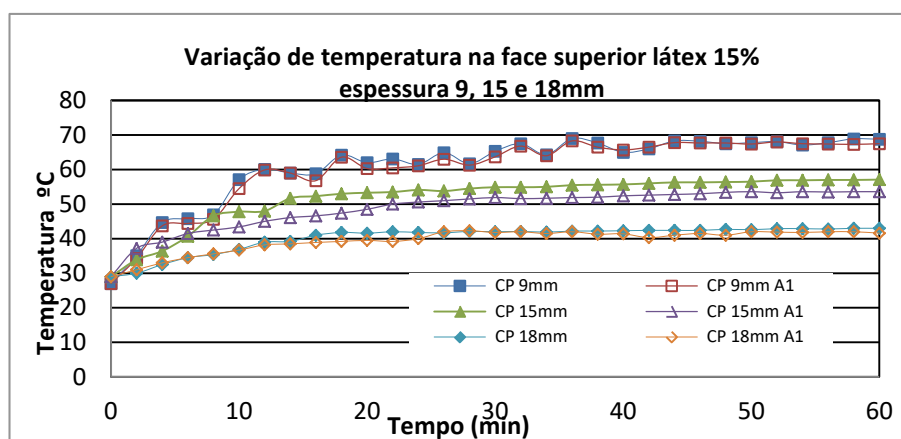
Gráfico 4 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos (espessura 18mm – látex 15, 25,35%), espuma de EVA e lã de



Os valores plotados no Gráfico 4 mostram que a eficiência de isolamento térmico dos corpos de provas produzidos com serragem de eucalipto e látex nas especificações (18mm e teor de látex de 15, 25 e 35%), seguem um comportamento de resistência térmica semelhante aos resultados encontrados nos Gráficos 2 e 3. O Gráfico 4 também mostra que as concentrações de látex influenciam positivamente na resistência a transferência de energia térmica perpendicular à fonte emissora, haja vista, que o látex apresenta coeficiente de condutividade térmica variando entre (0,03 – 0,17 w/mk). Entretanto para os corpos de prova produzidos com espessura de 18 mm, o aumento das concentrações de látex refletiu com menor participação na redução das temperaturas nas faces superiores dos corpos de prova. A variação do teor de látex para os corpos de prova produzidos com espessura de 18mm implicou em uma redução de temperatura de apenas 2°C, já para os corpos de prova com espessura de 9 e 15mm a variação do teor de látex refletiu nas respectivas reduções 8°C e 9°C.

4.5 COMPARAÇÃO DA REDUÇÃO DE TEMPERATURA DOS CORPOS DE PROVA EM RELAÇÃO ÀS ESPESSURAS 9, 15 E 18mm

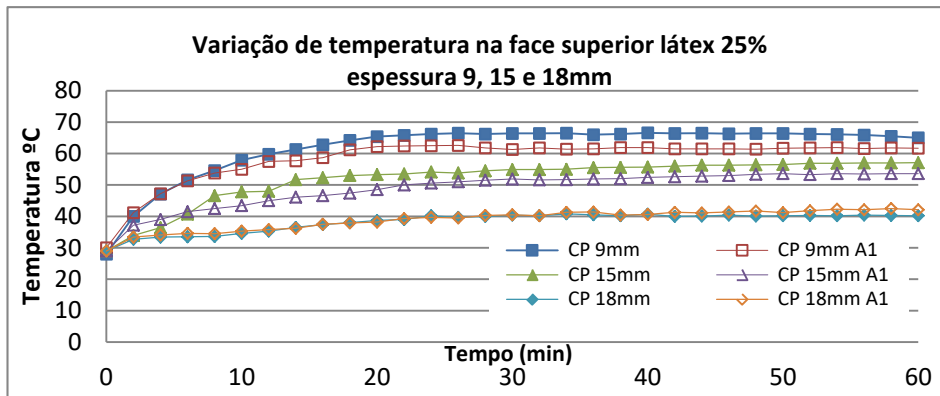
Gráfico 5 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com espessura variando em (9, 15 e 18mm) com concentração de látex (15%).



Verificou-se no Gráfico 5 que houve uma redução da temperatura para todos os corpos de provas em relação à fonte emissora ajustada para 90°C no decorrer de 60min, tempo determinado para a realização do ensaio de eficiência de isolamento térmico. Os compósitos com espessura de 9mm e látex a 15% apresentaram uma redução de ± 24,45% da temperatura, ou seja, a média das temperaturas das faces superiores destes

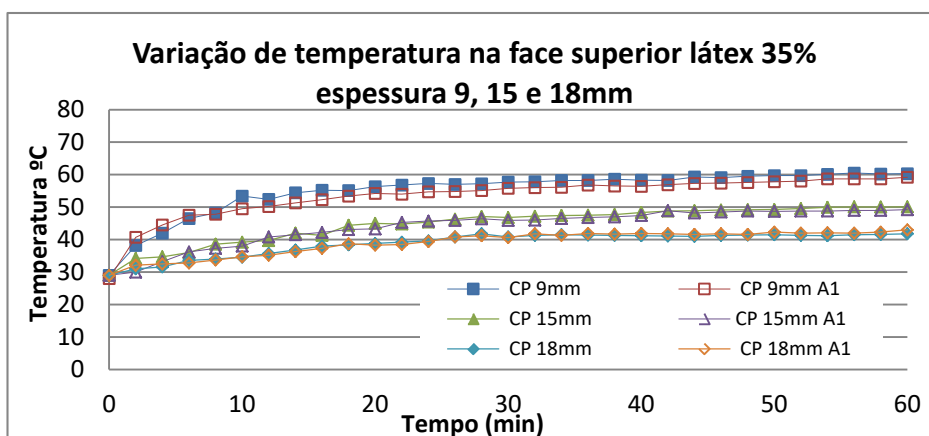
corpos de prova permaneceu $\pm 68^{\circ}\text{C}$. Já os corpos de prova com espessura de 15mm e 18mm reduziram respectivamente em 36,66% e 52,22%, permanecendo com temperaturas médias de 57°C e 43°C em suas faces superiores, ambos com teor de látex de 15%.

Gráfico 6 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com espessura variando em (9, 15 e 18mm) com concentração de látex (25%).



O Gráfico 06 mostra uma mesma tendência de redução das temperaturas nas faces superiores em relação à fonte emissora para todas às espessuras dos compósitos produzidos. Os compósitos com espessura de 9mm e látex 25% apresentaram uma redução de $\pm 28,89\%$ da temperatura, ou seja, a média das temperaturas das faces superiores destes corpos de prova permaneceu $\pm 64^{\circ}\text{C}$. Já os corpos de prova com espessura de (15, 18mm) e látex 25% reduziram respectivamente em $\pm 44,44\%$ e $\pm 53,33\%$, permanecendo com temperaturas médias de $\pm 51^{\circ}\text{C}$ e $\pm 42^{\circ}\text{C}$ em suas faces superiores.

Gráfico 7 - Variação de temperatura nas faces superiores dos compósitos com espessura variando em (9, 15 e 18mm) com concentração de látex (35%).

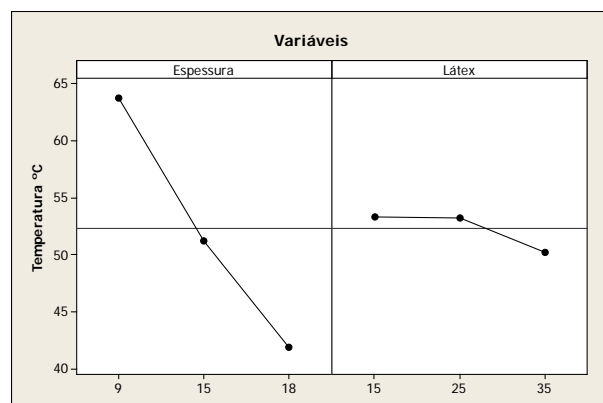


Os resultados dos ensaios de eficiência de isolamento térmico, plotados no Gráfico 7, indicam que os compósitos com espessura de 18mm e concentrações de látex de 35%, apresentaram maior resistência ao fluxo de calor perpendicular à fonte emissora ajustada para 90°C, mostrando-se mais eficiente para este tipo de aplicação. Estes compósitos apresentaram uma redução de $\pm 54,44\%$ da temperatura, ficando muito próximo dos valores referentes à Lã de vidro de 15mm com valores de redução de $\pm 55,55\%$. Já à média das temperaturas em suas faces superiores permaneceram em torno de $\pm 42^\circ\text{C}$. Em comparação com os percentuais de redução apresentados pelos corpos de provas com espessuras de 9 e 15mm, os compósitos de 18mm apresentaram uma redução média de $\pm 22^\circ\text{C}$ para os corpos de prova de 9mm e $\pm 12,34^\circ\text{C}$ para os corpos de prova 15mm.

4.4 ANÁLISES DE INTERAÇÃO E CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PRESENTES NO EXPERIMENTO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA

O Gráfico 8 mostra que as variáveis (espessura e látex), comportam-se de forma independente do ponto de vista da interação com a temperatura, como também são inversamente proporcionais a seu aumento. É possível observar no gráfico 11 que de forma geral existe uma relação direta com a diminuição da temperatura na face superior do compósito com o aumento da espessura dos corpos de prova e o aumento do percentual de látex, em sua produção. Esse fato ocorre devido à taxa de transferência da energia térmica ser inversamente proporcional à área e a espessura do compósito, como descrito na lei de Fourier para condutividade térmica.

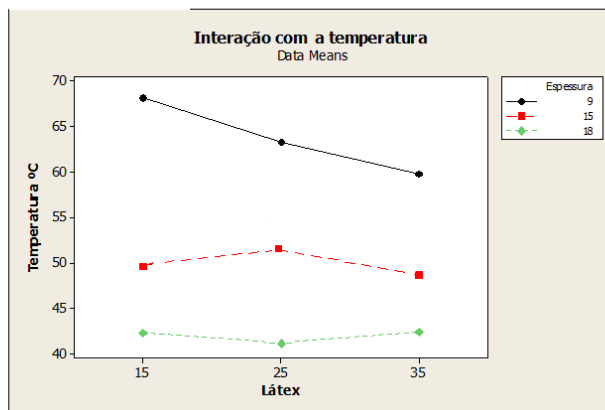
Gráfico 8 – Efeito das variáveis em relação à temperatura



É possível notar no Gráfico 8 que em relação à eficiência de isolamento térmico a variável espessura tem uma participação maior na resistência à transferência de calor perpendicular à fonte emissora, quando comparada com a variável látex. Esse resultado

ocorre pelo aumento da quantidade de poros no interior do compósito de maior espessura, tornando a transferência de energia térmica menos eficiente, uma vez que os poros estão impregnados de ar com coeficiente de condutividade em torno de 0,02(w/mk).

Gráfico 9- - Interação das variáveis com a temperatura



O gráfico 9 mostra que o teor de látex presente nos traços também influencia na resistividade do material. Todavia, sua contribuição no isolamento térmico é bem menor quando comparada com a contribuição da serragem nos corpos de provas de maior espessura, mostrada no gráfico 8.

A Tabela 7 faz um comparativo entre a eficiência da resistência térmica dos compósitos produzidos com serragem de eucalipto com espessura de 9mm e látex variando nas proporções (15, 25 e 35%) e a espuma de EVA 9mm. Dessa forma, comparou-se a temperatura final na face superior da espuma de EVA após o período de 60min com as respectivas temperaturas obtidas nas faces superiores dos corpos de prova produzidos. Este procedimento foi repetido para a lã de vidro de 9mm com seus dados apresentados na tabela 8, como também para: (espuma de EVA 15mm – Tabela 9), (lã de Vidro 15mm – Tabela 10), (espuma de EVA 18mm – Tabela 11), (lã de Vidro 18mm – Tabela 12).

Tabela 7 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 9mm e espuma de EVA 9mm.

Compósito com espessura de 9mm x espuma de EVA 9mm				
Temperatura base	Temperatura Face superior °C	Redução temperatura face superior (%)	Comparativo redução temperatura face superior (%)	Latex (%)
90°C	47	47,77	0	EVA
90°C	68	24,45	-48,82	15
90°C	64	28,89	-39,52	25
90°C	60	33,33	-30,22	35

Tabela 8 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos espessura de 9mm e lã de vidro 9mm.

Compósito com espessura de 9mm x lã de vidro 9mm				
Temperatura base	Temperatura Face superior °C	Redução temperatura face superior (%)	Comparativo redução temperatura face superior (%)	(%)
90°C	40	55,55	0	F. Vidro
90°C	68	24,45	-55,98	15
90°C	64	28,89	-47,99	25
90°C	60	33,33	-40,00	35

A Tabela 9 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 15mm e espuma de EVA 15mm.

Compósito com espessura de 15mm x espuma de EVA 15mm				
Temperatura base	Temperatura Face superior °C	Redução temperatura face superior (%)	Comparativo redução temperatura face superior (%)	Látex (%)
90°C	42	53,33	0	EVA
90°C	57	36,66	-31,25	15
90°C	50	44,44	-16,66	25
90°C	48	46,66	-12,50	35

Tabela 10 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 15mm e lã de vidro 15mm

Compósito com espessura de 15mm x lã vidro 15mm				
Temperatura base	Temperatura Face superior °C	Redução temperatura face superior (%)	Comparativo redução temperatura face superior (%)	Látex (%)
90°C	38	57,77	0	F. vidro
90°C	57	36,66	-36,54	15
90°C	50	44,44	-23,07	25
90°C	48	46,66	-19,23	35

Tabela 11 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 18mm e espuma de EVA 18mm

Compósito com espessura de 18mm x espuma de EVA 18mm				
Temperatura base	Temperatura Face superior °C	Redução temperatura face superior (%)	Comparativo redução temperatura face superior (%)	Látex (%)
90°C	38	57,77	0	EVA
90°C	43	52,22	-9,60	15
90°C	42	53,33	-7,68	25
90°C	41	54,44	-5,76	35

Tabela 12 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 18mm e lã de vidro 18mm

Compósito com espessura de 18mm x lã de vidro 18mm				
Temperatura base	Temperatura Face superior °C	Redução temperatura face superior (%)	Comparativo redução temperatura face superior (%)	Látex (%)
90°C	34	62,22	0	F. Vidro
90°C	43	52,22	-16,07	15
90°C	42	53,33	-14,28	25
90°C	41	54,44	-12,50	35

Os resultados dos ensaios de eficiência de isolamento térmico expostos acima mostram que a eficiência de isolamento térmico em relação à espuma de EVA (0,08 e 0,12w/mk) e a lã de vidro (0,04w/mk) aumentam gradativamente à medida que a espessura e o teor de látex presentes nos corpos de prova aumentam. Esse fato ocorre devido à borracha apresentar coeficiente de resistência térmica (0,03-0,17 w/mk), sendo considerada como material de baixa condutividade térmica. Resultados semelhantes foram encontrados por (OLIVEIRA et al 2014). Já Wang (1988) apud Cravo (2013), afirma que para ser isolante térmico, o material deve apresentar condutividade térmica menor que $0,25 \text{ Wm}\cdot\text{K}$.

Outro fator a ser considerado em relação à eficiência de isolamento térmico foi o aumento do volume de poros nos corpos de provas estarem associados ao aumento do volume do compósito, ou seja, compósitos com espessura de 18mm terão um número maior de poros em relação aos compósitos com espessura de 9mm dificultando a transferência de calor por convecção em relação à fonte emissora, uma vez que no interior nos poros da serragem e do compósito existe uma quantidade de ar encapsulado, o qual possui baixo coeficiente de condutividade térmica em torno de $0,02 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Zhou et al. (2010) citam que o desempenho do material isolante é devido à baixa condutividade térmica do ar contido nestes vazios.

De maneira geral os valores obtidos pelos ensaios de eficiência de isolamento térmico para os corpos de provas produzidos com serragem de madeira *Corymbia citriodora* e látex, como esperado, são menores do ponto de vista de isolamento térmico em relação aos materiais comparados, espuma de EVA e Lã de vidro com (0,04w/mk). Entretanto, o resultado da análise comparativa dos corpos de prova em relação a sua espessura, evidencia que os corpos de provas com espessura de 18mm e concentração de látex de 35% apresentaram uma redução de $\pm 54,44\%$ da temperatura em relação à fonte de calor, ficando muito próximo dos valores referentes à Lã de vidro de 15mm com valores de redução de $\pm 55,55\%$. A Tabela 13 apresenta de forma compilada os resultados para o ensaio de eficiência térmica em função de espessura, dos materiais (espuma de EVA, lã de vidro) e do percentual de látex.

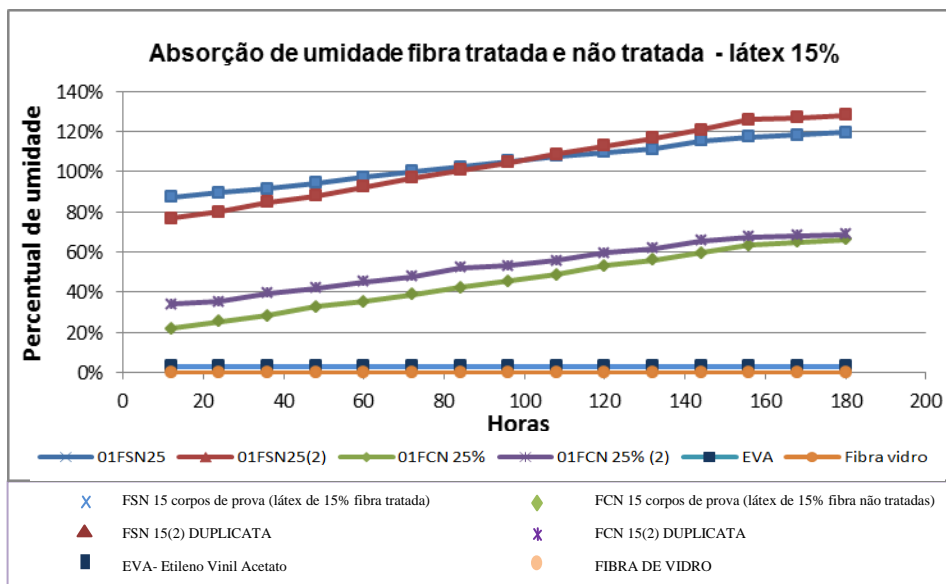
Tabela 13 - Comparativo de eficiência térmica entre os compósitos com espessura de 9, 15, 18mm; lã de vidro e espuma de 9, 15, 18mm e látex com percentual de 15,25,35%.

temperatura base	Latex (%)	Temperatura face superior °C	Redução temperatura face superior (%)	Comparativo redução temperatura face superior (%) EVA 9mm	Comparativo redução temperatura face superior (%) Lã Vidro 9mm
Compósito com espessura de 9mm x espuma de EVA e lã de vidro 9mm					
90°C	EVA	47	47,77		
90°C	F. Vidro	40	55,55		
90°C	15	68	24,45	-48,82	-55,98
90°C	25	64	28,89	-39,52	-47,99
90°C	35	60	33,33	-30,22	-40,00
Compósito com espessura de 15mm x espuma de EVA e lã de vidro 15mm					
90°C	EVA	42	53,33		
90°C	F. Vidro	38	55,55		
90°C	15	57	36,66	-31,25	-36,54
90°C	25	50	44,44	-16,66	-23,07
90°C	35	48	46,66	-12,5	-19,23
Compósito com espessura de 18mm x espuma de EVA e lã de vidro 18mm					
90°C	EVA	38	57,77		
90°C	F. Vidro	34	62,22		
90°C	15	43	52,22	-9,6	-16,07
90°C	25	42	53,33	-7,68	-14,28
90°C	35	41	54,44	-5,76	-12,50

4.5 RESULTADOS PLOTADOS PARA O ENSAIO DE ABSORÇÃO DE UMIDADE.

O Gráfico 10 apresenta a absorção de umidade para os compósitos produzidos com fibras tratadas e não tratadas com percentual de 15% de látex sem modificação.

Gráfico 10 - Absorção de umidade fibra tratada e não tratada – látex sem modificação 15%

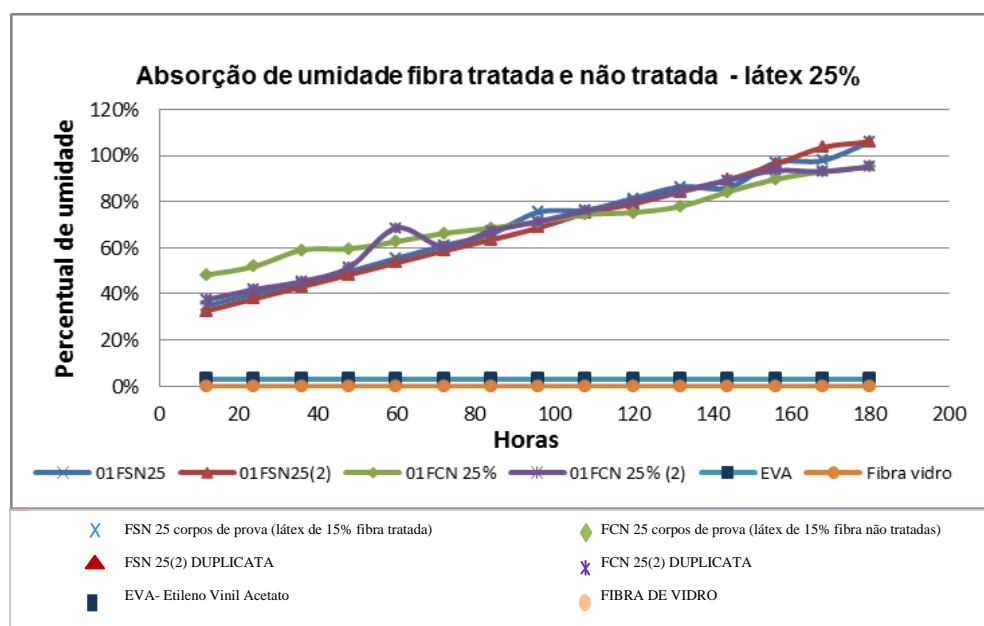


O Gráfico 10 mostra que após o período de 24h os corpos de prova produzidos com fibra tratada apresentaram uma absorção em torno de 20% e 38% para sua duplicata, já os corpos de prova produzidos com fibra não tratada apresentaram absorção inicial de 78% e 83% para sua duplicata. É possível observar que os valores plotados no gráfico citado acima apresentam a mesma tendência de crescimento até que seja atingido seu ponto de saturação. O ponto de saturação dos corpos de prova produzido com fibra tratada foi em torno de 65%, já os corpos de prova produzidos sem fibra tratada tiveram seu ponto de saturação de 120% e 130% para sua duplicata, ou seja, os corpos de prova produzidos com fibra tratada e látex sem modificação a 15% reduziram aproximadamente 52% do percentual de umidade em relação aos produzidos com fibra não tratada. O percentual de absorção para o EVA variou em torno de 3% devido sua porosidade, já a fibra de vidro não apresentou alterações em seu percentual. O percentual de absorção de umidade dos corpos de prova produzidos com serragem tratadas e látex a 15%, indicou que houve uma diminuição significativa do percentual de absorção de umidade, indicando que para esta concentração de látex as fibras mercerizadas absorvem menos água.

Dando sequência as análises dos ensaios de absorção de umidade para os corpos de prova, tem-se a composição para o traço definido anteriormente: (38%, 33%, 29%) de granulometria fina, média e grossa, serragem tratada e não tratada com 25% de látex

não modificado. O gráfico 11 apresenta os percentuais de absorção de umidade das fibras tratadas e não tratadas com látex não modificado.

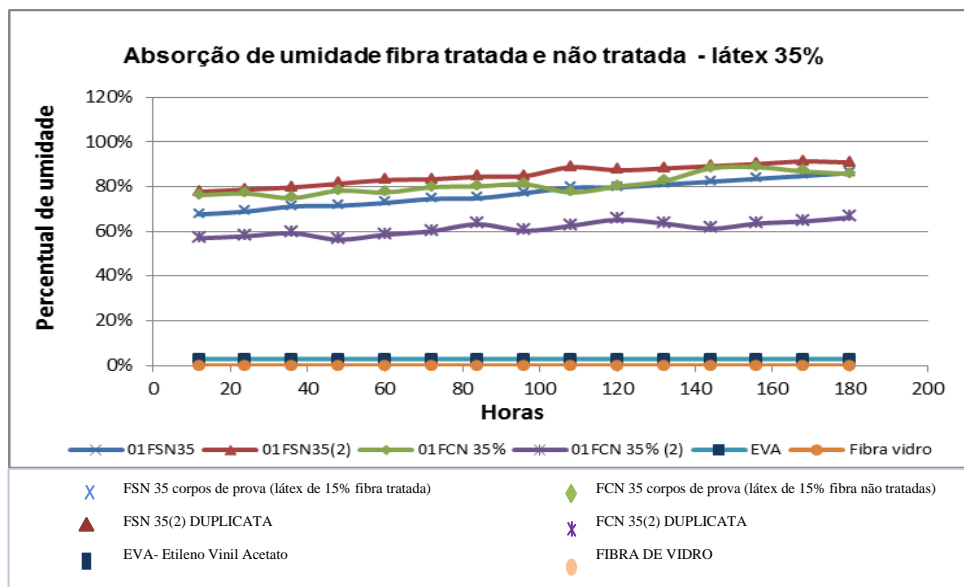
Gráfico 11 - Absorção de umidade fibra tratada e não tratada - látex sem modificação 25%



O Gráfico 11 indica que após o período de 24h os corpos de prova apresentaram uma absorção em torno de 40%. Transcorrido o período de 180h os corpos de prova produzidos com fibra tratada e não tratada e látex sem modificação a 25% atingiram seu ponto de saturação em torno de 95%. Para os corpos de prova produzidos sem fibra tratada e látex sem modificação a 25%, este ponto ficou em torno de 105%. É possível observar que os valores plotados no gráfico citado acima, para os corpos de prova produzidos com fibra tratada e não tratada e látex sem modificação a 25%, apresentam a mesma tendência de crescimento até que seja atingido seu ponto de saturação. O percentual de absorção para o EVA variou em torno de 3% devido sua porosidade, já a fibra de vidro não apresentou alterações em seu percentual. A variação do percentual de absorção de umidade dos corpos de prova, produzidos com serragem tratada e não tratada, indicou que não houve uma diferença significativa no percentual de absorção de umidade entre os corpos de prova produzidos com teor de látex de 25%.

Foi dado continuidade aos ensaios de absorção de umidade para os corpos de prova, tendo como composição o traço definido anteriormente: (38%, 33%, 29%) de granulometria fina, média e grossa, serragem tratada e não tratada com 35% de látex não modificado. O Gráfico 12 apresenta os percentuais de absorção de umidade das fibras tratadas e não tratadas com látex não modificado.

Gráfico 12 - Absorção de umidade fibra tratada e não tratada – látex sem modificação 35%



É possível observar no gráfico 12 que após o período de 24h os corpos de prova, produzidos com fibra tratada e látex sem modificação a 35%, apresentaram uma absorção inicial de 57 e 78% para sua duplicata, entretanto, os corpos de prova produzidos com fibra não tratada sua saturação de 68 e 77% para sua duplicata. Os corpos de prova produzidos com fibra sem tratamento atingiram sua saturação, após o período de 180h em 85 e 90%, ou seja, os corpos de prova produzidos com fibra tratada e látex a 35% reduziram aproximadamente 14% do percentual de umidade em relação aos produzidos com fibra não tratada. A variação do percentual de absorção de umidade dos corpos de prova, produzidos com serragem tratada e não tratada, indicou que não houve uma diferença significativa no percentual de absorção de umidade entre os corpos de prova produzidos com teor de látex de 35%. O percentual de absorção para o EVA variou em torno de 3% devido sua porosidade, já a fibra de vidro não apresentou alterações em seu percentual.

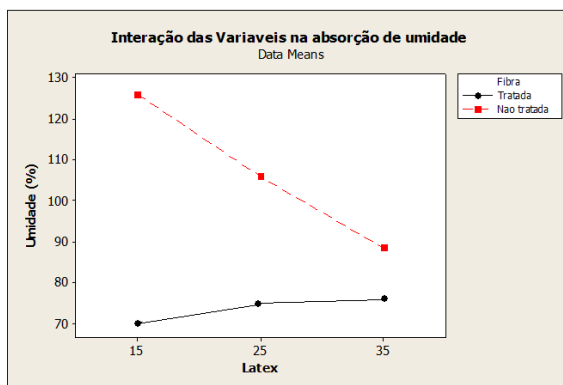
Com isso, é possível afirmar que estes materiais são mais eficientes do ponto de vista de resistência absorção de umidade, quando comparados com o composto desenvolvido, com 15%, 25% e 35% de látex não modificado.

4.6 ANÁLISES DE INTERAÇÃO E CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS PRESENTES NO EXPERIMENTO DE ABSORÇÃO DE UMIDADE

É possível observar no gráfico 13 que existe uma relação de interação entre a diminuição da umidade e o aumento do percentual de látex nos corpos de prova,

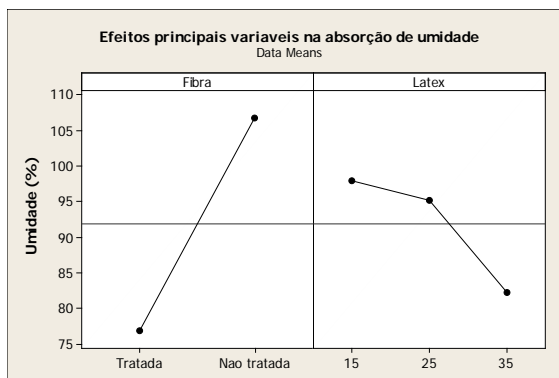
produzidos com fibras não tratadas quimicamente. Este resultado ocorreu devido às propriedades hidrofóbica do látex servindo como material isolante diminuindo a área de contato das partículas de madeira e as moléculas de água. Entretanto, para os compósitos produzidos com fibra tratada foi possível observar para as concentrações de látex de 25 e 35%, um acréscimo na absorção de umidade.

Gráfico 13 – Interação das variáveis em relação à absorção de umidade



O Gráfico 14 mostra que apesar dos valores encontrados no experimento de absorção de umidade serem muito parecidos, tanto para os compósitos produzidos com fibras tratadas e não tratadas com a mesma concentração de látex, o gráfico de efeitos das variáveis em resposta a absorção de umidade mostra que existe uma relação de interação positiva nos compósitos produzidos com fibra tratada e a diminuição da absorção de umidade. O mesmo comportamento pode ser visto com menor intensidade em relação às concentrações de látex, ou seja, a absorção de umidade diminuiu nos compósitos produzidos com concentrações maiores de látex, exceto para os corpos de rovas produzidos com fibra tratada.

Gráfico 14 – Efeitos principais em relação à absorção de umidade



Os resultados dos ensaios de absorção de umidade mostram que a diminuição do percentual de umidade dos corpos de prova produzido com serragem de madeira

eucalipto e látex industrializado, está associada ao aumento do teor de látex presentes nos traços, como também ao tratamento por mercerização. A Tabela 14 mostra algumas variáveis e valores relacionados à absorção de umidade para os compósitos produzidos com fibra não tratada e fibra tratada.

Tabela 14 - Valores relacionados à absorção de umidade para os compósitos produzidos com fibra não tratada e fibra tratada.

Compósitos - fibra não tratada (FN) e fibra tratada (FT)										
Látex (%)	Massa Inicial (g)	Massa Inicial (g)	Densidade aparente (g/cm³)	Densidade aparente (g/cm³)	Massa Final (g)	Massa Final (g)	Densidade após saturação (g/cm³)	Densidade após saturação (g/cm³)	Absorção umidade (%)	Absorção umidade (%)
	FN	FT	FN	FT	FN	FT	FN	FN	FN	FT
15	4,93	4,54	0,39	0,36	10,1	7,76	0,8	0,62	105,02	70,92
15	5,0	4,44	0,4	0,36	9,9	7,59	0,79	0,61	98,03	70,94
25	4,45	6,04	0,36	0,48	8,77	12,48	0,7	1	97,07	106,15
25	4,58	5,2	0,37	0,42	9,06	10,72	0,72	0,86	97,81	105,98
35	5,37	6,21	0,43	0,5	8,62	11,51	0,69	0,92	60,52	85,34
35	5,98	6,12	0,48	0,49	9,28	11,71	0,74	0,94	55,18	91,5

Segundo Korjenic (2011) os compósitos produzidos com fibras lignocelulósicas possuem uma maior sensibilidade à umidade, ou seja, são mais susceptíveis à absorção de água, essa característica, restringe a aplicabilidade do material, devido à corrosão e degradação biológica por fungos e bactérias favorecida pela exposição excessiva do material à umidade. Mokhothu e John (2015) indicaram que “a absorção de umidade em compósitos de fibra vegetal é explicada principalmente pela ação capilar de moléculas de água para dentro das aberturas e defeitos na fronteira entre as fibras e a matriz por causa de ligação incompleta”.

Analisando a tabela 14, é possível verificar que para os compósitos produzidos com percentual de 25% de látex houve uma redução de $\pm 8,00\%$ de absorção em relação às concentrações de 15% de látex, já para as concentrações de 35% observou-se uma redução de $\pm 37\%$. Filho (2015) observou que o látex apresenta grande influência na diminuição da higroscopicidade das fibras vegetais, isso porque, a matriz látex funciona como um tampão nos microporos das fibras. Já Ford (2011) analisou as propriedades de absorção de umidade em compósitos utilizando látex como matriz e observou que o teor

de látex tem grande influência na diminuição da absorção e umidade no compósito, o autor afirma que, esse fato ocorre devido à diminuição da porosidade com o preenchimento dos espaços vazios no interior do compósito, evitando o acúmulo de umidade.

Os corpos de provas produzidos com fibra tratada e látex variando nas concentrações 15, 25 e 35%, apresentaram uma redução de $\pm 27,09\%$ para os compósitos com concentração de látex de 15% quando comparado com os percentuais de redução obtidos para os corpos de prova produzidos com fibra não tratada e látex 15%. Contudo, os corpos de provas produzidos com fibra tratada apresentaram um aumento em seus percentuais de absorção de umidade para as concentrações de 25 e 35%, com um acréscimo médio de (8%) para as concentrações de 25% de látex e aproximadamente (29%) para as concentrações de 35% de látex. Lopes et al (2005) avaliaram a viabilidade técnica da utilização de cascas de madeira trituradas com e sem tratamento químico por mercerização para produção de compósitos, os resultados encontrados pelos autores evidenciaram diferentes valores de redução da absorção de umidade para serragem tratada com concentrações variadas de NaHO.

CAPÍTULO – 5

5. CONCLUSÃO

A classificação granulométrica possibilitou estabelecer os percentuais de serragem em (38%, 33%, 29%) para as respectivas granulometrias (<0,59, 4,76, 9,52mm), possibilitando um melhor preenchimento dos moldes, diminuição dos espaços vazios além de evitar a separação da serragem em camadas.

O processo de mercerização causou a solubilização parcial da lignina e da hemicelulose contribuindo para a redução da capacidade de absorção de água para os compósitos produzidos com fibra tratada e concentração de látex de 15% em relação aos demais.

A modificação da matriz látex utilizando glicerol na quantidade de 3g tornou-o propício à absorção de umidade inviabilizando sua utilização como matriz para produção de compósitos, utilizados como isolantes térmicos.

Os ensaios de absorção de umidade mostram que os compósitos obtidos se caracterizam como inadequado ou inapropriado às condições de trabalho com elevada presença de umidade ou ambientes susceptíveis a presença de água, quando comparados com a lã de vidro e a espuma de EVA, sendo necessária a utilização de um aditivo tornando o compósito produzido menos higroscópico. Levando em consideração o melhor desempenho da espuma de EVA e da lã de vidro, os compósitos com espessura de 18mm e concentrações de látex de 35%, apresentaram maior resistência à transferência de energia térmica, reduzindo aproximadamente 54,44% da temperatura perpendicular à fonte emissora, resultado equivalente aos corpos de prova em lã de vidro com espessura de 15mm. Dessa forma conclui-se que os corpos de prova com espessura de 18mm e concentrações de látex de 35% são eficiente para este tipo de aplicação.

O estudo continuado do material produzido se faz necessário no sentido de melhorar sua eficiência na redução de absorção de umidade. Além disso, outros ensaios relacionados à absorção de ondas sonoras, desagregação de partículas na presença de umidade, inflamabilidade e toxicidade do látex após queima são necessário à obtenção de um produto que atenda as necessidades de mercado.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Abaixo alguns tópicos são abordados por serem considerados relevantes para futuras pesquisas no intuito de melhor compreender determinados aspectos relacionados ao compósito desenvolvido.

- Ensaio de envelhecimento.
- Desagregação de partículas na presença de umidade.
- Estudo de novos traços com porcentagens diferentes de resíduo e matriz.
- Utilização de outros materiais como enchimento: fibras de sisal, coco verde, cascas de cereais, etc.
- Estudo do uso de outras matrizes termoplásticas ou termofixas de origem natural e sintética, a exemplo da borracha resina.
- Estudo da aplicabilidade e condições ideais de trabalho, como também dos sistemas de fixação e união de peças.

5.2. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8514 – Plásticos – Determinação de Absorção de Água**. Rio de Janeiro, 1984.

ABDUL-KHALIL, H. P. S. et al. **Conventional agro-composites from chemically modified fibres**. *Industrial Crops and Products*, London, v. 26, n. 3, p. 315-323, Oct. 2007.

ABIPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. *Indústria Brasileira de Painéis-2006*. Disponível em: . Acesso em: 8 ago. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. ABRAF. *Anuário Estatístico da ABRAF: Ano Base 2007*. Brasília: ABRAF, 2008. 90p. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatísticas>> .Acessado em 10 Abril 2015.

ABDEL KADER, M. et al. **Evaluation of thermal insulation and mechanical properties of waste rubber/natural rubber composite**. *HBRC Journal*. V.8. P.69–74, 2012.

ALBINANTE S. R.; PACHECO E. B. V.; VISCONTE Y. L. L. **Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas**. *Quim. Nova*, Vol. 36, No. 1, 114-122, 2013

A.S. Hashim, S.K. Ong, R.S. Jesyy (2002) <http://www.rubber-stichting.info/index>.

BATISTA, D. C.; SILVA, J. G. M.; CORTELETTI, R. B. **Desempenho de uma serraria com base na eficiência e na amostragem do trabalho**. *Floresta e Ambiente*, Seropédica – RJ, v. 20, n. 2, p. 271-280, 2013.

BEJAN, A.; MORAN, M.; *Thermal design and optimization*, Ed. ASME Press: New York, 1996.

BISANDA, E. T. N. - **The Manufacture of Roofing Panels from Sisal Fiber Reinforced Composites**. *Journal of Materials Processing Technology*, v.38, p.369-380, 1993.

BATTISTELLE, R. A. G. et al. **Estudo comparativo entre chapas de partículas confeccionadas com diferentes resíduos e sua aplicação em design de produtos**. XIII SIMPEP, Bauru - SP, 2006.

BANKS, A. D. **Aproveitamento de resíduos da indústria da madeira**. *Revista da madeira*, Curitiba, ano 12, n. 69, p. 28-30, 2003.

BRITO, E. O. **Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira**. *Revista da Madeira*, Curitiba, ano 4, n. 26, p. 34-39. 1995.

BOWERS J. E., *Natural Rubber-Producing Plants for the United States*, USDA, National Agricultural Library, Beltsville, MD, 1990.

BORYSIK, S.; DOCZEKALSKA, B. **X-ray diffraction study of pine wood treated with NaOH**. *Fibres Text. East. Eur.* 2005, 13, 87–89.

BLEDZKI AK, REIHMANE S, GASSAN J. **Thermoplastics reinforced with wood fillers: a literature review**. *Polym Plast Technol Eng* 1998;37(4):451e68

- BISANDA, E.T.N e ANSELL, M.P. **Composites Science Technologies**. p.41, 165, 1991
- ÇENGEL, Y.A., **Heat transfer a practical approach**. 2a edição. Publisher McGraw Hill Professional, 2003.
- CERQUEIRA, P. H. A.; VIEIRA, G. C.; BARBERENA, I. M.; MELO, L. C.; FREITAS, L. C. **Análise dos Resíduos Madeiros Gerados Pelas Serrarias do Município de Eunápolis - BA**. Floresta e Ambiente, Seropédica – RJ, v.19, n. 4, p. 506-510, 2012.
- CRAVO, **Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas**. 2013, 166p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), USP, Pirassununga.
- DESARNAULDS V. et al., **Sustainability of acoustic materials and acoustic characterization of sustainable materials**, Proceedings of ICSV12, Lisbon, Portugal, 2005.
- DOBROVOLSKI, E. G. **Problemas, destinação e volume dos resíduos da madeira na indústria de serrarias e laminadoras da região de Irati-Pr**. Ponta Grossa, 1999. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.
- DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1996.
- Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Epagri. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2008-2009. Disponível em <http://www.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=272:sintese-anual-da-agricultura-20082009&catid=46:publicacoes&Itemid=1>. Acesso em: 06 Mar. 2015
- ESPET A, VILAPANA F, KARLSSON S. **Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties**. Compos Part A Appl S 2004;35(11):1267e76.
- FARUK, O.; BLEDZKI, A.K.; FINK, H.P.; SAIN, M. **Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010**. Prog. Polym. Sci. **2012**, 37, 1552–1596.
- FONSECA, F. M. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos à base de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) reciclado e fibras vegetais**. 2005. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) –Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, MG, 2005.
- FROTA, A.B. ; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel. 1988. 228p.
- FORUNO, T.; UEHARA, T.; JODAI, S. **Combinations of wood and silicate. I. impregnation by water glass and applications of aluminum sulfate and calcium chloride as reactants**. Mokuzai Gakkashi, Japan, v.37, n.5, p.462-72, 1991
- FILHO S. R. J. **Obtenção e caracterização de um eco-compósito à base de látex e bainha da palha do coqueiro para isolamento térmico e acústico - UFRN**, Centro de Tecnologia, Tese de Doutorado 2015.

FORD, E. T. L. C. **Desenvolvimento de material compósito a base de raspa de pneu e látex para isolamento térmico**. 2011, 142p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), UFRN, Natal.

FUNG, KL; et al. **An Investigation on the processing of sisal fiber reinforced polypropylene composites**. Composites Science and Technology, v.63, n.9, p. 1255-1258, 2003.

GORDON, J.; WYLEN, V.; Fundamentos da termodinâmica, 5ª edição, 2000.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. B. V. **Ecologia Industrial: Conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 2006.

German Technical Cooperation Agency- GTZ. **Manual valuelinks: metodologia de promoção da cadeia de valor**. GTZ, 2007

GHALI, L. et al. **Effect of pre-treatment of Luffa fibers on the structural properties**. Materials Letters, Amsterdam, v. 63, n. 1, p. 61-63, Jan. 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GHDAN, R. H.; HAMZA, D. M. **Effect Of Rubber Treatment On Compressive Strength And Thermal Conductivity Of Modified Rubberized Concrete**. Journal Of Engineering And Development. V. 15. P. 21 –29, 2011.

GEETHAMMA V. G., MATHEW K. T, LAKSHMINARAYANAN R. and THOMAS S. **Composite of short coir fibres and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fibre**, 1998.

HILL, C.; HUGHES, M. **Natural fibre reinforced composites opportunities and challenges**. Journal of Biobased Materials and Bioenergy, v. 4, p. 148–158, 2010

HOLMAN, J. P. **Heat Transfer**. 10ª edição, McGrawHill: New York, 2010, 725p.

HILLIG, E.; SCHNEIDER, V. E.; PAVONI, E. T. **Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção**. Produção, v. 19, n. 2, p. 292-303, 2009.

HEINRICKS, H.; BERKENKAMP, R.; LEMPFER, K.; FERCHLAND, H.-J. **review of technologies and markets for building materials**. In: Inorganicbonded Wood and Fiber Composite Materials, 7., Sun Valley, 2000. Proceedings... Moscow, University of Idaho, 2000. 12 p. /SHS Report/

OLIVEIRA L.M.M.; HALASZ M. R. T.; LIMA, E.L.B. **Reutilização da borracha proveniente da recauchutagem de pneus na confecção de placas isolantes termo acústicas**, Cobeq XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química 2014.

ICHAZO M. N., HERNANDEZ M., ALBANO C., GONZALEZ1 J. **Curing and Physical Properties of Natural Rubber/Wood Flour Composites**, Wiley Inter Science, 2006.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6 ed. Tradução: QUEIROZ, E. M.;PESSOA, F. L. P. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.

ISMAIL H, ROSNAH N, ROZMAN HD. **Curing characteristics and mechanical properties of short oil palm fiber reinforced rubber composites.** Polym 1997;38(16):4059e64.

IAMAMOTO, H. (2005). **Produção de tijolos maciços com adição de resíduos industriais.** Bauru. 43 p. (Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia, UNESP, campus de Bauru, para a obtenção do título de Engenharia Civil, sob orientação do Prof. Dr. Adilson Renóbio).

IBRAHIM, N. A. et al. **Effect of fiber treatment on mechanical properties of kenaf fiber-ecoflex composites.** Journal of Reinforced Plastics and Composites, Westport, v. 29, n. 14, p. 2192-2198, July 2010

ISAR. **Lã de vidro.** São Paulo, Disponível em: <<http://www.isar.com.br/produtos/isolamento-termico/la-de-vidro/>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

JURAN, J.M.; GRYNA JR., F.M.; BINGHAM JR., R.S. (1951). **Quality control handbook.** 3. ed. New York, McGraw-Hill. Cap.27, p.1-49.

KAWAHARA S., W. KLINKLAI, H. KURODA AND Y. ISONO, **Polym. Advan. Technol.**, 2004, 15, 181–184.

KABARA et al, **Natuur rubber**, 2006, 41, 1

KREITH, F. **Princípios da transmissão de calor.** Ed.Edgard Blücher. Instituto nacional do livro. MEC,1973, 747p.

KERN, D.Q. **Processos de transmissão de calor.** Ed. Blücher: Rio de Janeiro, 1977, 550p.

KOHIYA S, IKEDA Y. **Chemistry, manufacture and applications of natural rubber.** United Kingdom: Woodhead Publishing; 2014.

KAZAYAWOKO M, BALATINECZ JJ, MATUANA LM. **Surface modification and adhesion mechanisms in wood fiber-polypropylene composites.** J Mat Sci 1999;34(24):6189e99.

KORJENIC, A., et al. **Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources.** Energy and Buildings. V.43. P.2518–2523, 2011.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia.** São Paulo: E. Blücher, 2006. 336 p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3 ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

LIMA FILHO M.R.F. **Avaliação do desempenho mecânico de protótipo executado com blocos eva: estudo de impactos horizontais em alvenarias e suas interações com outros elementos da construção.** Dissertação (Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba), 2008.

LIU, W. et al. **Effects of alkali treatment on the structure, morphology and thermal properties of native grass fibers as reinforcements for polymer matrix composites.** Journal of Materials Science, Norwell, v. 39, n. 3, p. 1051- 1054, Mar. 2004.

LOPES V. L. Y.; MORI F.A.; MENDES L. M.; TRUGILHO J. V. FP. F.; SILVA G. C. **Avaliação do potencial técnico da madeira e cascas de Eucalyptus grandis Hill**

ex Maiden na produção de painéis cimento-madeira. SCIENTIA FORESTALIS n. 67, p.111-122, abr. 2005

JACOB, K.T. VARUGHESE AND SABU THOMAS “**Durability and ageing characteristics of hybrid bio-fiber reinforced natural rubber biocomposites.**” Journal of Biobased Materials and Bioenergy 1, 118-126, 2007

MADY, F.T.M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais.** Programa de Desenvolvimento Tecnológico. Manaus: SEBRAE, 2000. 212p.

MONTGOMERY, D. C. **Diseño y Análisis de Experimentos.** Grupo Ed. Iberoamérica. Tradução: Jaime Delgado Saldivar, México – DF, 1991.

MOIR G. F. J. Nature, 1959, **184**, 1626.

MACAMBIRA, Paulo Marcelo Fecury. **O concreto em Belém do Pará: Uma visão analítica de seus componentes, mão-de-obra e patologias.** Monografia de Engenharia Civil. Universidade Amazônia-UNAMA.2001

MELO, A.P. LAMBERTS, R. **Envelope insulation and heat balance in commercial buildings** Eleventh International IBPSA Conference, Vol. 2, Glasgow, Scotland (July 2009), pp. 7–30

Ministério do Trabalho e Emprego. **Programa de disseminação das estatísticas do trabalho.** Bases estatísticas RAIS/CAGED. Disponível em . Acesso em: 08 set. 2009.

MARTINS, A. F.; SUAREZ, J. C. M.; MANO, E. B. **Produtos Poliolefinicos com Desempenho Superior aos Materiais Virgens Correspondentes.** Polímeros: Ciência e tecnologia. 1999.

MISSAGIA, Z. M. V. *et al.* **Compressive Behaviour of Polimeric Composites Reinforced With Sawdust.** In: BRAZILIAN CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIAL, 1., Natal, 2011.

MOTTA, L. A. C. **Melhoria do desempenho de fibras de coco e sisal para reforço de matrizes cimentícias através de tratamento termomecânico e impregnação de resinas.** Tese (Doutorado). 133 p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

MORENO, R.M.B.; GONÇALVES, P. de S.; MATTOSO, L.H.C. “**Study of raw natural rubber from new rubber tree clones (IAC series)**”. KGK, Kauts., Gummi, Kunst., 61, p. 528-530, 2008.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. **Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs.** Energy and Buildings, Belgrade, v. 40, p. 445-451, 2009

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desa-fio do conhecimento.** São Paulo: Hucitec, 1993.

MOKHOTHU, T. H. JOHN, M. J. **Review on hygroscopic aging of cellulose fibres and their biocomposites.** Carbohydrate Polymers. V.131. P.337–354, 2015.

Natural Rubber Materials : Volume 1: Blends and IPNs , (2013).

ORTEGA, Z.; BENÍTEZ, A. N.; MONZÓN, M. D.; HERNÁNDEZ, P. M.; ANGULO, I.; MARRERO, M. D. **Study of banana fiber as reinforcement of polyethylene samples made by compression and injection molding.** Journal of Biobased Materials and Bioenergy, v. 4, n. 2, p. 114-120, 2010.

OZEL, M. **Dynamic approach and cost analysis for optimum insulation thickness of the building external walls (in Turkish)**, J Fac Eng Archi Gazi Univ, 23 (4) (2008), pp. 879–884

OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de. **Planejamento Estratégico: conceitos, Metodologia e Práticas**. 14. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

PAUKSZTA, D.; BORYSIK, S; **The Influence of Processing and the Polymorphism of Lignocellulosic Fillers on the Structure and Properties of Composite Materials—A Review**, Institute of Chemical Technology and Engineering, Poznan University of Technology 2013.

PERVAIZ, M., Sain, M.M. 2003. **Carbon storage potential in natural fiber composites**. Resources Conservation e Recycling, v. 39, p. 325-340.

PORTAL METÁLICA. **Lã de vidro: isolamento térmico e acústico**. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/la-de-vidro-isolamento-termico-e-acustico>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

PAUL, S. A. et al. **Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials**. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, London, v. 39, n. 9, p. 1582-1588, Sept. 2008.

PEREIRA, A. F.; CARVALHO, L. S. C.; PINTO, A. C. O. **Resíduo de Madeira: limites e possibilidades de seu uso como matéria-prima alternativa**. In: CONGRESSO

PASSOS, P. R. A. **Destinação sustentável de cascas de coco (Cocos nucifera) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas**. 2005. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PANTHAPULAKKAL, S.; LAW, S.; SAIN, M. **Enhancement of Processability of Rice-Husk Filled High-Density Polyethylene Profiles**. Journal of Thermoplastic composite Materials, v. 18, n. 5, p. 445-458, 2005.

BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN. 2010, São Paulo. Anais. São Paulo: Universidade Anhembi-Morumbi, p. 11, 2010.

REDETECVERDE **Construindo Inovações Sustentáveis**
<http://www.redetecverde.com.br/tecnologia>. Acessado em: 12 de dezembro 2015.

REYNOLDS, W.C. Thermodynamics. Tokyo. Internacional Student Edition, 1986.

RAZERA, I. A. T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignocelulósica**. 2006. 189 p. Tese (Doutorado em Ciências Físico-Química) – Instituto de química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

ROWELL, R. M. **Agro-fiber based composites: exploring the limits**. In: 18th International Symposium on Materials Science: Polymeric Composites – Expanding he limits, Proceedings. Editors: S.I. Andersen, P. Brøndsted, H. Lilholt, Aa. Lystrup, 127 J.T. Rheinländer, B.F. Sørensen and H. Toftegaard. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, p 127-133, 1997

ROSÁRIO, L. M. **Briquetagem visando utilização de resíduos de uma serraria**. Monografia . Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, ES, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 14001. Disponível em: <http://www.iso.ch>. Acesso em 29 Mar. 2016.

SPIRIDONOV, Y. A.; ORLOVA, L. A., **Problems of foam glass production**, v 60 n 9-10, glass and ceramics, p 313 2003.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (SBS). **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo. p. 93, 2008.

SOARES FILHO, R. P., MELO, A. B., FEITOZA, M. M., et al., 2005, **Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: Bloco de EVA uma alternativa às alvenarias das construções**. In: 47 Congresso Brasileiro do Concreto, pp. 552-567, Recife.

SAIN, M. et al. **Interface modification and mechanical properties of natural fiberpolyolefin composite products**. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Westport, v. 24, n. 2, p. 121-130, Jan. 2005.

SANCHES M. C., COELHO N. N., FUTIGAMI J. M., ROCHA, M. C. G., **Avaliação do processo de mercerização da torta de mamona, Brasiltec- 2014**.

TEIXEIRA M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**, Salvador BA – UFBA, 2005.

TECNOTERMO. **Lã de vidro - Isover**. São Paulo, Disponível em: <http://www.tecnotermo.com.br/site_port/prod_la_de_vidro.asp>. Acesso em: 15 ago. 2014.

TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M. F.; FROLLINI, E.; **Polímeros: Ciência e Tecnologia** 2002, 12, 228.

THAKUR, V. K. **Green Composites from Natural Resources**. CRC Press, 2013.

WOOLMAN, T., VESHAGH, A. 2006. **Designing Support for Manufacturing SMEs Approaching Ecodesign and Cleaner Production - Learning from UK Survey Results**. Journal 13a edição da conferência internacional de CIRP sobre a engenharia do ciclo de vida. Leuven (Bélgica).

WITITSUWA ANNAKUL, D, RATTA NAPITTA YAPORN, A. KOYAMA. **Involvement of Hevea Latex Organelle Membrane Proteins in the Rubber Biosynthesis Activity and Regulatory Function** *Macromol. Biosci.*, 4, 314–323, (2004).

WANG, S.H. **Construction Materials Science**. China Construction Industry Publisher. 1988.

VECCHI, R. **Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido**. 2015. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

ZULUAGA, R. et al. **Cellulose microfibrils from banana rachis: effect of alkaline treatments on structural and morphological features**. *Carbohydrate Polymers*, London, v. 76, n. 1, p. 51-59, Mar. 2009.

ZHENG, G. JING, Y. HUANG, H. GAO, Y. **Application of improved grey relational projection method to evaluate sustainable building envelope performance** *Appl Energy*, 87 (2) (2010), pp. 710–720

ZHOU, Y. *et al.* **Lignocellulosic fibre mediated rubber composites: An overview.** Composites Part B. V.76. P. 180–191, 2015

ZHOU, X. *et al.* (2010). **An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers.** Energy and Buildings, v. 42, p. 1070–1074.