



APROVEITAMENTO DE CASCAS DE EUCALIPTO PARA CONFEÇÃO DE PLACAS DE ISOLAMENTO TERMO/ACÚSTICO

Sandra Marisa da Silva¹, Ryara Ghiotto Rambalducci², Gerlison Timóteo Gomes²,
Marcos Roberto Teixeira Halasz³

1. Aluna do MPTA - Faculdades Integradas de Aracruz
(sandra.farma28@hotmail.com), Aracruz - Brasil.
2. Alunos do Curso de Engenharia Química - Faculdades Integradas de Aracruz
3. Professor do curso de Engenharia Química das Faculdades Integradas de Aracruz
Aracruz - Brasil.

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

RESUMO

Neste trabalho são estudadas algumas variáveis que influenciam na produção de compósitos a partir da casca de eucalipto, como por exemplo, granulometria e proporções mássicas diferenciadas entre casca e resinas melamina-formaldeído e uréia-formaldeído. A produção e caracterização dos compósitos foram obtidas através do processo de beneficiamento das cascas, seguida da confecção dos compósitos e realização dos ensaios de tração, densidade, térmico e acústico. Os procedimentos adotados são adaptações das metodologias de IWAKIRI (2005), RAZERA (2006), BATTISTELLE et al. (2006), NETO et al. (2008) e GUEDES (2007), dentre outros de grande relevância, avaliando e adaptando as metodologias de produção desse material, atendendo aos objetivos propostos por este presente trabalho. Diante dos estudos aplicados, foi possível obter compósitos a partir da casca de eucalipto que promova isolamento térmico e acústico. Sugerem-se adaptações às técnicas aplicadas para um aumento significativo dos resultados apresentados.

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos. Isolamento Acústico. Isolamento Térmico.

UTILIZATION OF PEEL EUCALYPTUS FOR MAKING BOARDS INSULATION TERM / ACOUSTIC

ABSTRACT

In this work is studied some variable that influences in composites production out of eucalyptus bark as for example granulation and massive ratios differently between bark and resin melanin-formaldehyde and urea-formaldehyde. The production and characterization of composites it were gotten through the process of benefitiant of barks, next of the confection of composites realization of the attempt of traction, density, thermal and acoustic. The procedures adopted are adaptation of the methodology of IWAKIRI (2005), RAZERA (2006), BATTISTELLE et al. (2006), NETO et al. (2008) and GUEDES (2007), as well as others of big relevance,

evaluating and adapting the methodologies of production of this material, serving the purposes proposed by this current work. Formerly of the applied studies, it was possible to obtain composites from eucalyptus bark which promote acoustic and heat insulation. It suggest adaptations to the techniques applied to an significant increase of the presented results.

KEYWORDS: Composites. Acoustic Insulation. Thermal Insulation.

INTRODUÇÃO

As cascas de eucalipto possuem em sua estrutura polissacarídeos onde a celulose está associada a lignina, macromolécula tridimensional que associada a celulose na parede celular confere rigidez, impermeabilidade e rigidez as fibras. Ainda pode ocorrer a presença dos extrativos, citam-se os terpenos, as graxas, as ceras e os taninos. (PEREIRA, 2000). Tal como tem-se o destaque do uso do eucalipto para diversificadas atribuições, as cascas são rejeitos que necessitam ser aproveitados.

Algumas empresas tentam aproveitar as cascas fazendo compostagem, mas, devido ao tempo para decomposição torna-se inviável, além disso, a presença de taninos, que são fungicidas naturais, dificultam a decomposição da matéria orgânica.

O fato é que o setor da celulose e indústrias de papel acabam por gerar quantidades consideráveis de resíduos, como a casca, normalmente removidos das usinas e após queimadas para a produção de energia. Entretanto as folhas, ramos e frutos também são utilizados como formação de combustível na caldeira de biomassa o que diminui o fluxo de resíduos. (DOMINGUES et al., 2010). Atualmente, não se permite a queima sem que o efluente gasoso tenha um tratamento adequado (RESOLUÇÃO CONAMA 382/06), que muitas das vezes encarece o processo.

A relevância das fibras de origem natural como reforço em matrizes poliméricas, com o objetivo de desenvolver compósitos, aumentou de modo significativo devido à existência de propriedades que levam em consideração aspectos tais como baixo custo quando comparadas às fibras sintéticas, baixa densidade, biodegradabilidade, alta disponibilidade e por serem atóxicas e não abrasivas, possuem boas propriedades térmicas e mecânicas (FLORENTINO et al., 2011).

Os compósitos são materiais constituídos por dois ou mais elementos combinados, e quando separados se diferem na forma e composição química, e são essencialmente insolúveis um no outro. Quando misturados possuem qualidades superiores dos seus constituintes individualmente. A maioria dos materiais compósitos é formada por uma matriz, ou seja, uma fase contínua e um reforço de determinado tipo, uma fase descontínua (fibras) que fornece a principal resistência ao esforço. Essas duas fases juntas fazem com que o material final apresente propriedades especiais que favorecem uma maior aplicabilidade (RAZERA, 2006).

Dentro desse contexto de informações sobre os rejeitos de cascas de eucalipto e problemáticas ambientais geradas a partir desta atividade industrial, pretende-se através dos estudos já realizados de IWAKIRI (2005), RAZERA (2006), BATTISTELLE et al. (2006), NETO et al. (2008), CARASHI et al. (2009) e GUEDES (2007), dentre outros de grande relevância, avaliar e adaptar metodologias de produção e caracterização desses materiais, atendendo aos objetivos propostos por este presente trabalho que é avaliar a capacidade de isolamento térmico e acústico de placas produzidas a partir de cascas de eucalipto na forma de compósitos com

resinas de melamina-formaldeído (MF) e uréia-formaldeído (UF).

Segundo IWAKIRI (2005), o processo de produção dos compósitos envolve as etapas apresentadas na Figura 1. Os materiais utilizados no processo de produção de compósitos podem ser de fontes diversas, tais como eucalipto, fibras vegetais, polímeros ou misturas de matérias-primas. De acordo com MALONEY (1993 apud CHIPANSKI, 2006), a fase inicial do processo que pode ocorrer interna ou externamente à unidade fabril, consiste na etapa de geração das partículas, sendo realizada através de equipamentos como: picadores, moinhos, cepilhadores.

A secagem do material ocorre em estufa a 80°C por um período médio de 6 horas (IOZZI et al., 2010) e após isso ocorre a passagem por peneiras para ser classificado em tamanhos adequados para produção e então é transportado para dar início ao processo de aplicação de resina, onde se mistura as matérias-primas. (CHIPANSKI, 2006)

Conforme WEBER (2011), as partículas com resina são transportadas à formadora, a qual deposita o material em forma de um colchão contínuo em uma esteira transportadora, que posteriormente é conduzido à prensa, onde ocorre vagarosamente a pré-prensagem e enfim o colchão é prensado à quente para consolidação do painel.

Os painéis são transportados para um sistema de resfriamento e climatização. Em seguida, passam por um processo de acabamento, onde são lixados e cortados para adquirirem dimensões comerciais, e finalmente são embalados e estocados.

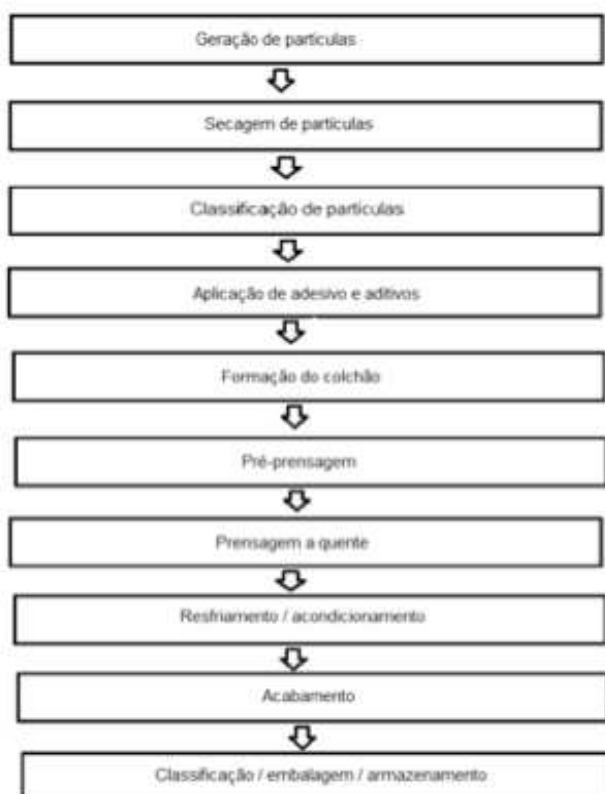


FIGURA 1 – Esquema resumido de produção de compósitos

Fonte: Adaptado de IWAKIRI (2005)

comercializar materiais compósitos baseados em constituintes de origem natural, o que terá impacto do ponto de vista da redução da dependência de materiais provenientes de fontes não renováveis (fósseis), assim como ambiental e econômico (JOSHI et al., 2004).

A proposta de IWAKIRI (2005) é a utilização de cascas de eucalipto de modo que antes deve ser verificada a necessidade de tratamento e trituração. Após secagem, são adicionadas a resina às cascas de eucalipto trituradas e a mistura é então prensada. Após passado o tempo de prensagem, as placas são colocadas em estufa para secagem e posterior realização dos testes físicos-mecânicos.

Geralmente compósitos que utilizam resinas poliméricas necessitam passar por uma etapa de cura do material a fim de que se torne próprio para utilização. Desta forma, logo após serem misturados em proporções desejadas, reforço e matriz são moldados através de prensagem manual ou por meio de prensas hidráulicas, sendo, nesses casos, aplicada uma carga escolhida que irá depender dos tipos de fibra e matriz que serão utilizados na fabricação do compósito.

A reação de cura corresponde à passagem do estado “termoplástico” dos pré-polímeros para o estado “termorrígido”, ou seja, pré-polímeros passam a ter uma disposição tridimensional, através de reações envolvendo posições ainda disponíveis, com outros reagentes (agentes de cura) ou condensando-se termicamente.

De acordo com CAMPOS & LAHR (2004), as resinas consideradas como adesivas são classificadas como termofixas e termoplásticas. Resinas termofixas, ou termorrígidas, endurecem por meio de reações químicas ativadas pela temperatura ou catalisadores e são resistentes a umidade e ao calor. Dentre as principais resinas podemos destacar: fenol-formaldeído, uréia-formaldeído, resorcinol formaldeído e os poliuretanos. Já as resinas termoplásticas apresentam como característica principal a sua cura reversível. Podem ser difundidos ou amolecidos quando é aumentada a temperatura, tornando a solidificar ao serem resfriadas.

As principais resinas empregadas na produção de MDF são: uréia-formaldeído e melamina-formaldeído. As resinas à base de uréia-formaldeído podem ser formuladas para curar à temperatura ambiente (20°C) ou para aquecimento através de prensas quentes a temperaturas que variam até 160°C. A melamina-formaldeído é normalmente do tipo de cura à quente à 115°C. Devido aos processos de produção, o custo da resina melamina é bem mais alto que a resina uréia. Basicamente, as reações de condensação da uréia e da melamina são iguais. CAMPOS & LAHR (2004).

Dada a produção do compósito dá-se a necessidade de caracterização do material produzido. Entre as diversas propriedades, a tração, a densidade e capacidades de isolamento térmico e acústico de compósitos têm sido estudadas com o intuito de verificar a possibilidade de utilização desses materiais em diversos setores de produção da construção civil.

O ensaio de tração possui a finalidade de avaliar a resistência dos materiais, neste caso, os corpos de prova são confeccionados na forma de “gravatas”, segundo a norma ASTM-D638; a norma permite o uso de diferentes dimensões SOUSA (2011). Neste ensaio, uma carga axial aplicada nominalmente impõe uma tensão normal uniforme em toda a seção transversal da amostra, com uma condição de deformação plana ocorrendo no centro do corpo de prova. O corpo de prova é preso nas extremidades questão geralmente de maior seção, e a força aplicada

axialmente. A parte central é mais fina e uniforme, chamada de comprimento útil. Nesta região coloca-se o extensômetro, cuja função é medir a deformação do corpo de prova. Uma das maneiras de se analisar a curva tensão-deformação é analisar a região elástica e a região plástica. A região elástica comporta-se aproximadamente como um sistema massa/mola, logo pode-se aplicar a lei de Hooke que enuncia que a tensão é proporcional a deformação. Ao considerar que a força aplicada é constante então a inclinação da curva, também é constante. Esta inclinação é chamada de Módulo de Elasticidade, e representa uma medida da dureza do material. No ponto onde o material atinge seu máximo valor de tensão é chamado Limite de escoamento (L.E.). O ponto onde o nível de tensão provoca a fratura é chamado de Módulo de Ruptura.

A norma ASTM-C271-99 relata que a densidade é uma propriedade física fundamental que pode ser utilizada em conjunto com outras propriedades, a fim de se caracterizar os materiais. Esta mesma norma afirma que os corpos de prova devem possuir tamanho mínimo recomendado de 30cm de comprimento e 30cm de largura. As espécies são então pesadas com balança de precisão de 60,5% e suas dimensões são aferidas em milímetros, através de equipamentos como micrômetros, capazes de medir precisamente 0,0025mm.

A norma NBR 14810-1 (2002) estabelece que os corpos de prova devem ter comprimento e largura de no mínimo 50mm. Após os corpos-de-prova terem sido devidamente identificados, determina-se a espessura com resolução de 0,1mm. A medição da espessura é feita em cinco pontos de cada corpo-de-prova, sendo um no centro e os demais em seus vértices. Após os corpos-de-prova terem sido devidamente identificados, determina-se o comprimento e a largura, utilizando um paquímetro com precisão de 0,1mm. Dessa forma, os corpos-de-prova são pesados em balança com precisão de 0,1g e suas medidas efetuadas.

Outro tipo de caracterização importante é o isolamento acústico. Para compreender tal fenômeno é necessário dominar conceitos como áudio, que é qualquer fenômeno no qual ocorram 20 a 20 mil ondas por segundo. As ondas são fenômenos de repetição cíclica, se dá a ida e a volta completa o nome de ciclo. A frequência é o número de ciclos que ocorrem a cada segundo de tempo, portanto quando tem-se uma frequência (F) de 1000 ciclos por segundos, se entende que a cada segundo acontecem 1000 ciclos de onda. Assim, ao invés de se utilizar ciclos por segundo, dá-se o nome Hertz (Hz) à unidade de frequência que corresponde 1 ciclo por segundo, então quando se tem por exemplo 250 ciclos por segundo, se tem 250Hz. O decibel (dB) é a unidade de medida que caracteriza as variações da percepção humana do som (VALLE, 2009).

A fonte sonora, as dimensões do material, a frequência do som e o seu meio de propagação são fatores importantes, que devem ser levados em consideração durante o dimensionamento do compósito, para assim obter um material com máximo isolamento acústico.

Isolamento sonoro pode ser entendido como a capacidade de uma divisória, partição, ou até mesmo de um ambiente, em isolar, barrar sons e ruídos, ou parte desses, propagados pelo ar. O isolamento é uma maneira de diminuir a transmissão de energia sonora de um ambiente para outro. Quando uma energia sonora incide sobre uma determinada superfície parte dela é refletida, outra é absorvida pelo material e o restante é transmitido ao outro ambiente. VALLE (2009).

A reflexão é a capacidade que corpos sólidos têm em devolver a onda sonora em outra direção ao meio, e absorção compete a materiais porosos e/ou fibrosos

que dissipam a energia sonora em térmica através de múltiplas reflexões. Os materiais possuem propriedades de isolamento e absorção de energia sonora, mas o que não quer dizer que um bom material isolante será um bom absorvedor, isso dependerá das características intrínsecas dos mesmos. VALLE (2009).

Para determinar a redução sonora ocasionada pelo uso de materiais compósitos, podem ser utilizados diferentes métodos, como ensaios laboratoriais e em campo, cálculos numéricos ou mesmo simulações computacionais.

De acordo com PINTO (2011), as reduções sonoras promovidas por paredes de alvenaria utilizadas em habitações podem ser determinadas através da diferença padronizada de nível, obtidos a partir das intensidades sonoras recebidas por um sensor, em dB, medidos em uma sala de emissão e também em uma sala de recepção, sendo registrados em bandas de terço de oitava na faixa de frequências de 100 a 5000 Hz.

GUEDES (2007) projetou uma minicâmara reverberante, de volume de 200m³, para caracterização de materiais acústicos absorventes. A minicâmara consistia numa caixa formada por compensados de madeira pregados e colados, com um emissor sonoro (auto-falante) fixado em um dos vértices no interior da mesma. Além disso, em cada face da câmara, folhas de vidro foram coladas para servirem como barreiras acústicas. Deste modo, o ensaio consistia em acoplar o corpo de prova em uma face da câmara através de uma janela perspectiva, medir a intensidade sonora emitida pela fonte, em dB, através de um decibelímetro, e registrando-as nas frequências de 125 a 8000 Hz em bandas de oitava.

Outra propriedade que deve ser considerada é o isolamento térmico, neste caso a temperatura é o parâmetro a ser estudado. A temperatura é a quantidade de energia térmica disponível e a condutividade térmica quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica, ou seja, é o movimento da energia térmica de um local para outro. Desta maneira, materiais com alta condutividade térmica são utilizados em dissipadores térmicos e materiais de baixa condutividade térmica são utilizados na confecção de objetos que visam a prover isolamento térmico. (ÇENGEL, 2009).

Um material que se destaca por possuir inúmeras aplicações, dentre elas isolante térmico em frigoríficos é o poliestireno expansível (EPS) conhecido comercialmente pela marca isopor. Sua capacidade de isolante deve-se a sua estrutura muito porosa (2% de poliestireno e 98% de ar), que mantém uma grande quantidade de ar, permanente e praticamente imóvel, dentro de sua estrutura (SANTOS, 2006).

A capacidade de isolamento térmico de um material pode ser entendida como a propriedade que o mesmo tem em possuir forte resistência em transmitir o calor que o atravessa. Tal isolamento tem se tornado cada vez mais importante em edifícios, devido o aumento do custo de energia.

As etapas na determinação da capacidade de isolamento térmico de materiais compósitos de acordo com BATTISTELLE et al. (2006) consistem resumidamente em: colocação das placas na vertical, posicionamento de maçarico (lança chama) a 30 cm de distância da placa; instalação de termopares em faces opostas, ligados a um termômetro digital e registro das temperaturas na face interna (em contato com a chama) e externa, de minuto a minuto até alcançar 30 minutos de duração do teste.

De acordo a norma NBR 12094: 2001, a condutividade térmica de um material pode ser determinada para fins de isolamento térmico, medindo-se um fluxo de calor em regime permanente de temperaturas que passa por corpos de prova com

formato de placas planas e paralelas.

Os ensaios de caracterização quanto ao isolamento térmico podem ser realizados segundo BATTISTELLE et al. (2006). Nesse caso, uma placa, a qual se deseja testar a capacidade como isolante térmica, foi colocada entre dois compartimentos, sendo um com gelo e outro sem gelo. Dois termômetros foram colocados dentro de cada compartimento de modo a fornecer os valores das temperaturas de cada ambiente inicialmente e após 80 minutos. Os testes verificaram a variação de temperatura sofrida pelos ambientes e os resultados puderam ser comparados, caracterizando dessa forma como melhor material isolante a placa em que os resultados forneceram uma menor variação de temperatura de cada ambiente.

MATERIAL E METODOS

A matéria prima para a produção de compósitos proposta neste trabalho são as cascas de eucalipto (Figura 2), que foram recolhidas na área de plantio de uma empresa de reflorestamento da região. Realizou-se o tratamento das cascas por meio de seleção, picagem e lavagem em água corrente.



FIGURA 2 – Cascas de eucalipto utilizadas no estudo (in natura e picadas)

Fonte: Os autores

Para garantir uma boa secagem e assim a boa desagregação das partículas para facilitar a moagem, as cascas permaneceram em estufa por 24 horas à 80 °C. Em seguida, passaram por um moinho de facas, devidamente separadas nas peneiras de 10 #, 20# e 30 # depois de trituradas.

O primeiro passo seria a determinação dentre várias resinas daquelas que melhor serviriam para confecção dos compósitos. Testes prévios com quatro diferentes tipos de resina foram realizados, foram utilizadas as resinas fenol-formaldeído (FF), melamina-formaldeído (MF), tanino-formaldeído (TF) e ureia-formaldeído (UF).

Posterior ao tratamento das cascas, a etapa de produção dos compósitos iniciou-se com a mistura entre a matriz e a resina seguindo o fluxograma da figura 3.



FIGURA 3 – Ordem de realização da produção de compósitos
 Fonte: Os autores

Na primeira etapa de mistura das matérias primas, as fibras da casca de eucalipto pré-tratadas, eram misturadas com as diferentes resinas pré-determinadas em recipiente apropriados e transferidas para moldes com dimensões 20cm x 20cm (figura 4) e tipo gravata (figura 5) com auxílio de uma espátula metálica.

Os moldes e suas tampas foram forrados com plástico resistente a temperatura, e, com o objetivo de facilitar a desmoldagem dos compósitos foi utilizada cera de automóvel em seu interior e sobre o plástico.

Posteriormente, o molde foi fechado, a mistura foi prensada aplicando-se uma carga de 100 kg durante 10 minutos através de uma prensa hidráulica. Após este procedimento foram desmoldados.

Após a confecção dos corpos de prova, os compósitos eram submetidos ao processo de cura a diferentes temperaturas. Considerando que das quatro resinas propostas foram utilizadas apenas duas para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizadas duas condições de cura. Como a cura da resina MF é a 115°C e para a resina UF pode variar até 160°C, nesta etapa ambos os compósitos desmoldados foram encaminhados a estufa e mantidos a uma temperatura de 115°C por 1 hora.



FIGURA 4 – Molde para placas retangulares
 Fonte: Os autores



FIGURA 5 – Molde para corpos de prova do tipo gravata
 Fonte: Os autores

Definida a metodologia para confecção dos compósitos iniciou-se a definição da quantidade de experimentos que deveriam ser realizados com base nas propriedades a serem analisadas. Para tal foram adotados os seguintes variáveis e faixas de valores: Granulometria (10#, 20# e 30#) e Proporção de resina com relação a madeira (3, 3,5 e 4), conforme é possível observar no Quadro 1.

O planejamento experimental (Quadro 2) consiste em obter o menor número de tratamentos com as melhores combinações de variáveis para a confecção das placas afim de se obter as mais promissoras para o isolamento térmico e acústico. As variáveis de resposta são as propriedades mecânicas, físicas e termo-acústicas que influenciaram diretamente na eficiência do isolamento na placa. Quanto ao número de corpos de prova, com base no planejamento experimental, foram previstos sete ensaios para cada resina e em se tratando dos testes propriamente ditos foram quatro: tração, densidade, acústico e térmico.

QUADRO 1 – Planejamento para 2 fatores com 3 repetições no ponto central

Variáveis	Códigos	-1	0	1
Granulometria (#)	X_1	30	20	10
Proporção de resina	X_2	3	3,5	4

QUADRO 2 – Tabela dos ensaios realizados

Ensaio	X_1	X_2
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	0	0
6	0	0
7	0	0

Ensaio de Caracterização

Após serem produzidos, cada um dos corpos de prova de cada tipo de resina passou por ensaios de natureza mecânica: tração, que seguiram a ASTM C638 e ensaios físicos que seguiram a norma NBR 14810-3 para determinação da densidade. Com relação ao isolamento acústico seguiu-se a metodologia desenvolvida por GUEDES (2007), e finalmente os ensaios de isolamento térmico foram de acordo com BATTISTELLE et al. (2006).

Para os ensaios de tração, cada corpo de prova foi devidamente confeccionado. Suas espessuras foram aferidas, com a utilização de um paquímetro de resolução 0,1mm. As larguras de cada lado do corpo de prova também foram aferidas com o auxílio de um paquímetro de mesma resolução. Obteve-se, então, a espessura e largura e o comprimento de cada corpo de prova.

A máquina utilizada para os testes foi a EMIC DL 60000 (Figura 6), célula Trd 13, onde cada corpo de prova do tipo gravata foi afixado nas garras da máquina e após a mesma foi ligada de modo a aplicar uma força média de 40 Kgf. Desse modo, dados como tensão máxima suportada foram calculados.



FIGURA 6 – Equipamento utilizado para os testes de Tração

Fonte: Os autores

Para os testes de densidade, cada espessura dos corpos de prova foi aferida nos quatro vértices da placa, com a utilização de um paquímetro de resolução 0,1mm. As medidas de largura também foram aferidas de cada lado do corpo de prova com o auxílio de um paquímetro de mesma resolução. Obteve-se, então, a espessura e largura média de cada placa e dessa forma o volume de cada corpo de prova foi calculado.

Os corpos de prova foram levados à estufa durante 24 horas, a uma temperatura de 80°C, e em seguida colocados em um dessecador para que resfriassem sem reabsorção de umidade. Assim, os corpos de prova foram pesados em uma balança analítica e a densidades calculadas.

Para realização dos testes de isolamento acústico, foi necessária a construção de uma caixa reverberante, que não permitisse a passagem de som por suas paredes, baseando-se na metodologia de GUEDES (2007). A caixa foi construída no Laboratório de Mecânica (LABMEC) das FAACZ – Faculdades Integradas de Aracruz.

Foram utilizadas folhas de compensado de madeira nas seguintes quantidades e dimensões: 2 folhas de 0,8m x 1,2m, 2 folhas de 0,8m x 1m e 2 folhas 1m x 1,2m, totalizando seis folhas de compensado de espessura igual a 20mm.

Foi montada uma caixa com uma abertura frontal para adaptação do corpo de prova de modo a não permitir vazamento acústico (Figura 7).



FIGURA 7 - Caixa de reverberação confeccionada para testes acústicos

Fonte: Os autores

O procedimento experimental consistiu, inicialmente, em instalar um fio conector entre o auto-falante localizado dentro da caixa reverberante e computador do lado de fora que iria enviar o som gravado.

Ajustou-se o volume no máximo emitido pelo auto-falante, através do computador. As medições das intensidades sonoras que atravessavam cada corpo de prova, em dB, foram realizadas através de um decibelímetro do tipo 2250 (Figura 8), da marca Brüel & Kjaer, nas frequências de 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, em bandas de oitava, ajustadas pelo próprio equipamento. Nesse caso, o decibelímetro foi posto a uma distância média de 30 cm de cada placa. Vale ressaltar que o laboratório esteve totalmente fechado durante os ensaios acústicos, para se desconsiderar o som proveniente de outras fontes, e apenas o som que atravessava cada corpo de prova ser captado.



FIGURA 8 – Decibelímetro utilizado no trabalho

Fonte: Os autores

O teste para cada corpo de prova teve duração de 1 minuto, e os resultados obtidos foram tratados graficamente através do programa BZ5503 – Measurement Partner Suite (BRÜEL & KJAER, 2013).

Mediram-se também as intensidades do som sem barreira acústica e de uma placa de EVA e outra de isopor para possíveis comparações nas mesmas condições.

O ensaio de isolamento térmico foi realizado a partir da adaptação da metodologia utilizada por BATTISTELLE et al. (2006).

Nesse ensaio, uma placa de aço 1020 estava afixada em pés metálicos, suas dimensões eram 30mm x 30mm x 13mm. Um fogareiro foi posto a 40 cm de distância da placa. E cada corpo de prova foi posto em contato com a placa, do lado oposto ao do fogareiro. A figura 9 mostra o esquema utilizado durante o ensaio para isolamento térmico.

Utilizaram-se três multímetros do tipo ET-1110, da marca DMM, previamente testados com água para calibragem da medição de temperatura, instalando-se cada um da seguinte forma: um em contato com a face da placa em frente ao fogareiro, outro na interface entre a placa e o corpo de prova, e outro em contato apenas com o corpo de prova.

As temperaturas iniciais foram registradas antes da propagação da chama pelo fogareiro e, desta forma, iniciou-se o fluxo de calor através do fogareiro para a placa de aço. O teste teve duração de cinco minutos para cada corpo de prova, e as temperaturas foram registradas a cada 30 segundos.

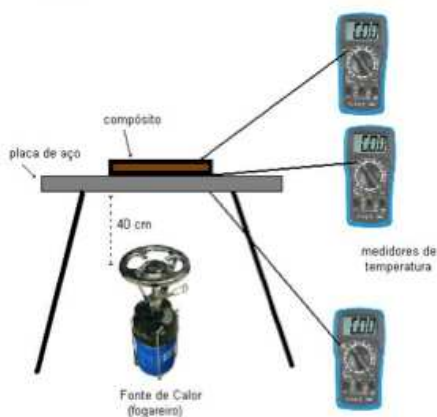


FIGURA 9 – Esquema de teste de isolamento térmico

Fonte: Os autores

RESULTADOS

O primeiro ponto a ser avaliado foi a determinação das principais granulometrias e percentual de resina através de testes de consistência (qualitativo) dos compósitos produzidos. Alguns dos resultados podem ser observados nas figuras 10, 11 e 12.



FIGURA 10 – Compósitos com 10%, 30% e 40% de casca de eucalipto respectivamente

Fonte: Os autores

Na figura 10 é possível observar que menos de 60% de resina em compósitos com casca de eucalipto leva a compósitos instáveis de fácil desagregação e valores muito maiores apesar de fornecerem uma consistência desejada refletem em um aumento significativo no custo do produto pois aumenta a quantidade de resina necessária no processo.

A figura 11 apresenta um caso de compósito utilizando a resina fenol-formaldeído sendo possível observar que o material formado não apresenta boa aderência entre resina e casca, tornando-se inviável sua utilização. Com relação a resina Tanino-formaldeído, observou-se que era formada uma goma viscosa e grudenta que não chegava a dar a consistência desejada. Desta forma essas duas resinas foram excluídas do trabalho.



FIGURA 11 – Compósitos formado com resina fenol-formaldeído

Fonte: Os autores

A figura 12 apresenta materiais de diferentes granulometrias, sendo a faixa utilizada no trabalho entre 10 e 30#, pois, abaixo de 10# as partículas grandes davam um aspecto visualmente inferior ao material formado e maior que 30# como as partículas eram muito pequenas dificultavam o manuseio e conseqüentemente a montagem das placas.



FIGURA 12 – Compósitos formado com granulometria de 10, 20 e 30# respectivamente

Fonte: Os autores

Para o desenvolvimento do trabalho, optou-se pela confecção de dois modelos de compósitos diferentes, o primeiro no formato de gravata (Figura 13), que serviu para a realização dos testes de tração e as placas que foram utilizadas nos testes de densidade, isolamento térmico e acústico (Figura 14).



FIGURA 13 – Compósito na forma de gravata

Fonte: Os autores



FIGURA 14 – Compósito na forma de placa

Fonte: Os autores

Com base no planejamento experimental realizado os corpos de prova foram montados seguindo as proporções indicadas no Quadro 3.

QUADRO 3 – Composição dos corpos de provas determinados pelo planejamento

Resina Melamina-Formaldeído				Resina Uréia Formaldeído			
Gravata		Placa		Gravata		Placa	
Fibra (g)	Resina(g)	Fibra (g)	Resina(g)	Fibra (g)	Resina(g)	Fibra (g)	Resina(g)
10,56	31,73	70,17	210,41	10,01	30,29	70,20	210,62
10,30	40,97	70,01	280,01	10,03	40,10	70,02	280,05
10,50	42,24	70,05	210,18	10,00	40,16	70,06	210,37
10,06	31,39	70,07	280,02	10,00	30,08	70,07	280,01
10,01	35,80	70,19	245,40	10,07	35,16	70,17	245,64
10,03	35,03	70,07	245,20	10,01	35,30	70,14	245,14
10,05	35,30	70,30	245,45	10,06	35,58	70,19	245,28

CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Testes de tração

Nos quadros 4 e 5, é possível observar o comportamento dos compósitos em relação à tração, considerando as diferentes granulometrias e proporções de resina, além dos dois tipos de resina, UF e MF. As tensões máximas suportadas pelos corpos de prova foram de valores muito baixos, entre 1,94 e 3,08 Mpa e 1,92 e 3,72 respectivamente. Os compósitos obtidos possuem valores inferiores aos observados na literatura para sistemas parecidos como é o caso de EL BANNA et al. (2012) (12 Mpa), considerando que são materiais diferentes. Assim no teste de tração não se obteve resistência mecânica dentro dos valores desejáveis, fator que descredencia os compósitos produzidos.

QUADRO 4 – Tensão máxima para os corpos de prova da resina UF

Amostra	Mesh	Proporção	Tensão Máxima (Mpa)
1	30#	3	3,08
2	10#	4	3,24
3	30#	4	3,89
4	10#	3	2,70
5	20#	3,5	1,94
6	20#	3,5	1,94

7	20#	3,5	1,94
---	-----	-----	------

QUADRO 5 – Tensão máxima para os corpos de prova da resina MF

Amostra	Mesh	Proporção	Tensão Máxima (Mpa)
1	30#	3	3,01
2	10#	4	3,18
3	30#	4	3,72
4	10#	3	2,61
5	20#	3,5	1,92
6	20#	3,5	1,92
7	20#	3,5	1,92

Foi possível observar que o melhor resultado de tensão máxima suportada obtido foi na amostra de composição com a casca na granulometria 30# e proporção de resina equivalente a 4 e a menor resistência foi observada na amostra de composição com a casca na granulometria 20# e proporção de resina equivalente a 3,5, isso para a resina UF.

Para a resina MF, a amostra com melhor resultado de tensão máxima suportada foi na amostra de composição com a casca na granulometria 30# e proporção de resina equivalente a 4 e a menor resistência foi observada na amostra de composição com a casca na granulometria 20# e proporção de resina equivalente a 3,5.

É possível observar a menor resistência mecânica obtida, que é um resultado insatisfatório e pode estar relacionado ao tempo de cura da resina, de modo que possivelmente a resina não impregnou de fato nas cascas de eucalipto, o que não contribui para a obtenção de bons testes com consequentes bons resultados.

Teste de densidade

Nas Figuras 15 e 16, é possível observar o comportamento da densidade dos compósitos em função das diferentes granulometrias e proporções de resina, além dos dois tipos de resina utilizados, MF e UF.

Analisando-se a Figura 15, é possível perceber aumento na composição em relação a proporção de resina faz com que a densidade dos materiais fabricados também aumente. Além disso, observa-se um crescimento linear em relação às densidades dos compósitos.

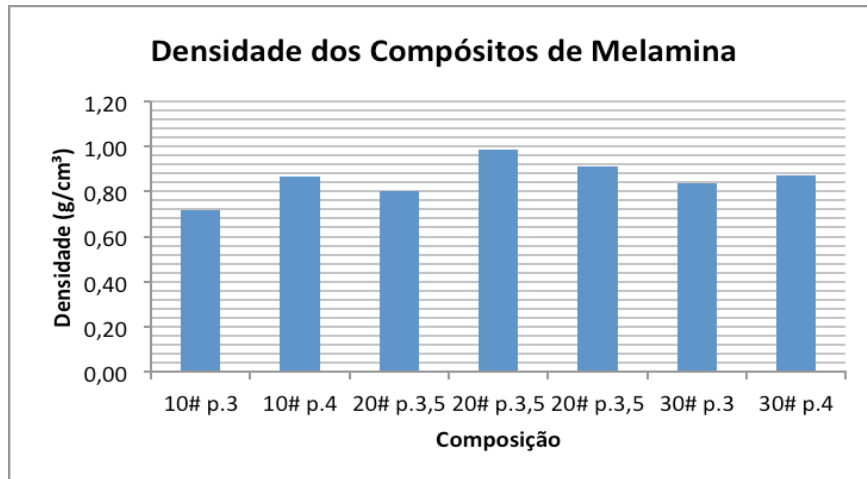


FIGURA 15 – Densidade dos Compósitos de MF

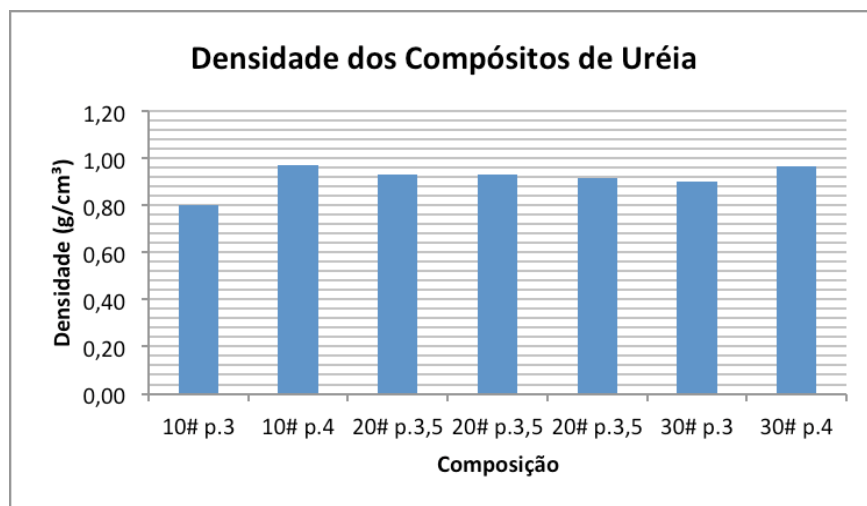


FIGURA 16 – Densidade dos Compósitos de UF

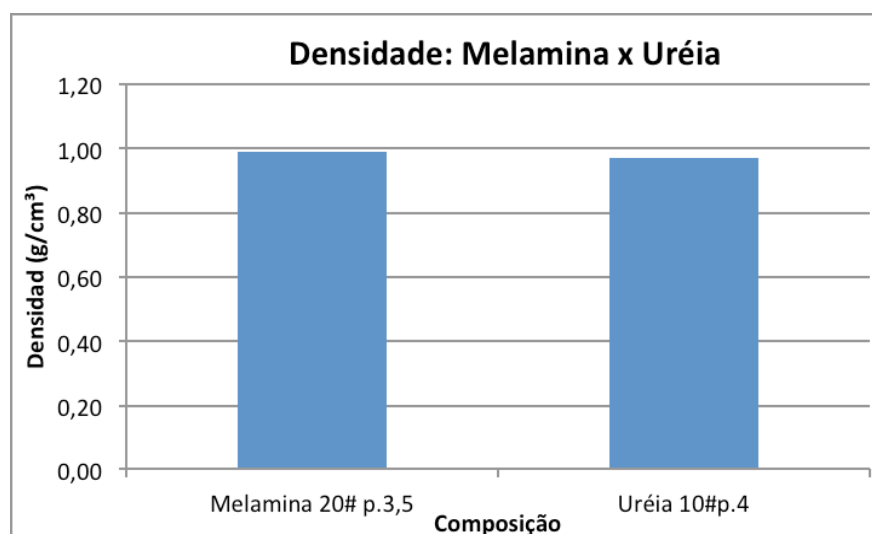


FIGURA 17 – Comparação das Densidades dos Compósitos de MF e UF

Segundo CALLISTER (2008, p. 64) materiais como o vidro, poliestireno e polietileno apresentam densidades iguais a $2,23\text{g/cm}^3$, $1,05\text{g/cm}^3$, $0,925\text{g/cm}^3$, respectivamente. Ainda, segundo a análise de resultados de NETO et al. (2008), quanto maior a densidade dos compósitos, maior será o isolamento do compósito, no entanto, é necessário vincular esse fator ao parâmetro relatado por CALLISTER (2008, p. 64). Nesse caso, através da Figura 15 verifica-se que para os compósitos de MF, o de composição 20# e 3,5 de proporção de resina possui melhor densidade, que é de $0,988\text{g/cm}^3$. A Figura 16 mostra que para os compósitos da resina UF, a melhor composição foi a de 10# e 4 de proporção de resina, cuja densidade é de $0,9671\text{g/cm}^3$. Assim, por meio da Figura 17 concluiu-se que o resultado de mais significância para a densidade foi ligeiramente melhor para a resina MF, de $0,988\text{g/cm}^3$, que está na faixa desejável quando comparadas à desses materiais, utilizados como isolantes térmicos e acústicos.

Teste de isolamento acústico

Os dados foram tratados graficamente através do programa BZ5503 – Measurement Partner Suite (BRÜEL & KJAER, 2013) e os cálculos das variações das intensidades sonoras obtidas para cada material se deram a partir da diferença entre a intensidade sonora recebida (I_{sr}) e o som livre de barreira para cada frequência.

Na Figura 18 percebe-se o comportamento da I_{sr} , em dB, pelo decibelímetro nas frequências (f) de 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz para cada corpo de prova, placas de EVA, de isopor e sem barreira acústica.

Verifica-se através do gráfico 4 que o corpo de prova com composição 30# e 4 de proporção de resina MF demonstrou maior isolamento acústico frente ao EVA, ao isopor e claro, frente ao som sem barreira em todas as frequências utilizadas.

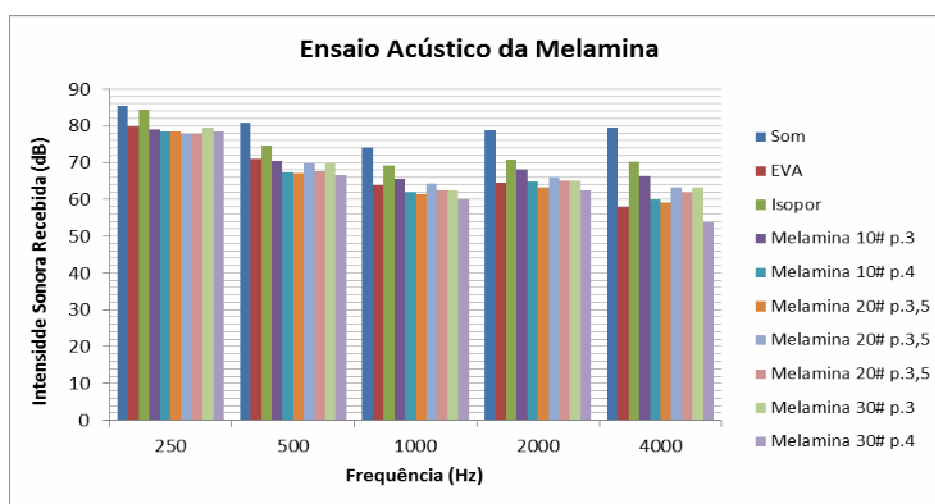


FIGURA 18 – Resultado do ensaio de isolamento acústico para MF

A Figura 19 mostra que o corpo de prova com composição 30# e 4 de proporção de resina UF demonstrou maior isolamento acústico frente ao EVA, ao isopor e claro, frente ao som sem barreira em todas as frequências utilizadas. De modo geral, em diferentes frequências demonstrou menor I_{sr} e assim maior isolamento acústico.

Assim, por meio da análise da Figura 20 concluiu-se que os dois compósitos que sobressaíram nos resultados para cada resina apresentam isolamento semelhante, entretanto em frequências específicas como em torno de 250 e 1000Hz, possuem praticamente a mesma capacidade, mas nas frequências 500 e 4000Hz, o corpo de prova da MF apresenta uma capacidade de melhor isolamento acústico.

Segundo NETO (2008) o tratamento que apresentou maior isolamento foi o *E. grandis* (0,880g/cm³), com uma redução de 25,7dB. O menor isolamento foi apresentado pelo *Pinus sp.*, com uma atenuação de 15dB. Numa frequência escolhida de modo aleatório dentre as testadas, as quais são demonstradas nos gráficos acima, houve uma redução de 24,4dB para o corpo de prova com composição 30# e 4 de proporção de resina UF e 25,8dB para o corpo de prova com composição 30# e 4 de proporção de resina MF quando comparados ao som. Assim, os resultados estão na faixa desejável de isolamento acústico, demonstrando que o material testado possui boa capacidade de isolamento acústico.

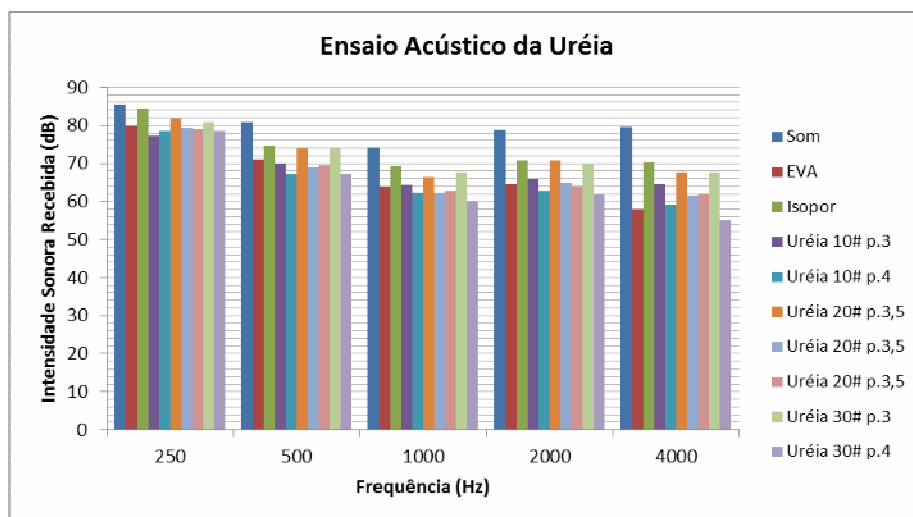


FIGURA 19 – Resultado do ensaio de isolamento acústico para UF

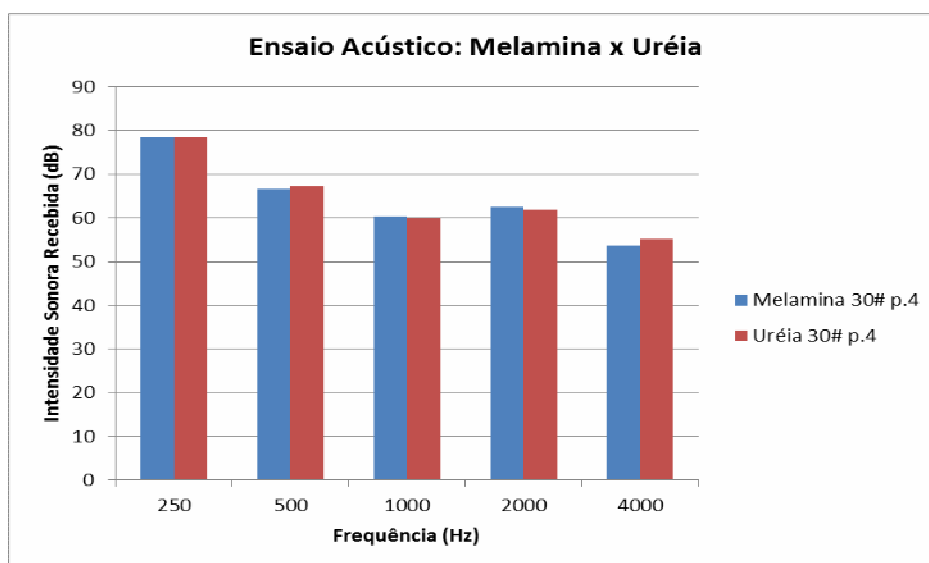


FIGURA 20 – Comparação dos níveis de I_{sr} dos Compósitos para as resina MF e UF

Teste de isolamento térmico

Os dados foram tratados graficamente após a aferição das temperaturas por meio de multímetros e após realizou-se análises das variações das temperaturas obtidas para cada compósito em cada tempo, o mesmo foi preconizado para o EVA e isopor.

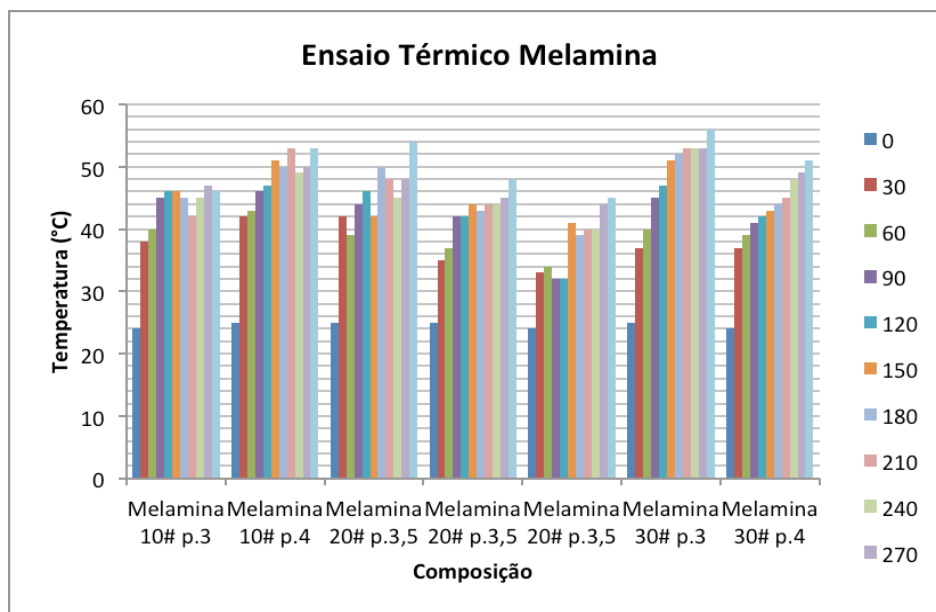


FIGURA 21 – Comportamento da Temperatura nas Faces de cada Compósito de MF

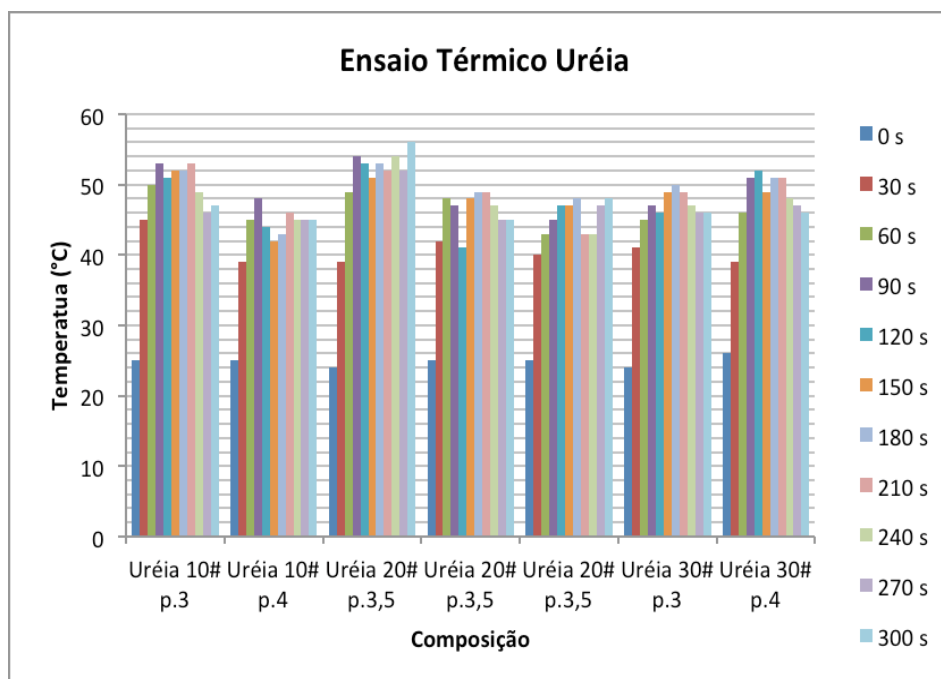


FIGURA 22 – Comportamento da Temperatura nas Faces de cada Compósito de UF

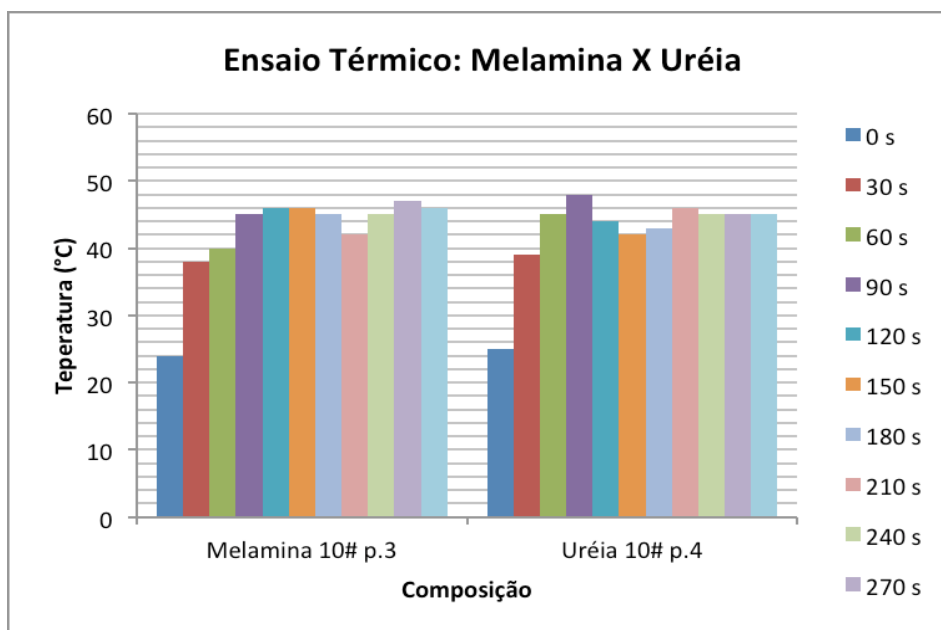


FIGURA 23 – Comparação da Temperatura nas Faces dos Compósitos para as resinas MF e UF

Segundo BATTISTELLE et al. (2006) níveis de temperatura próximos de 48°C para um tempo de 1800 segundos (s) correspondem a um resultado satisfatório no que se refere ao isolamento térmico, realizado para o compósito por ele testado. Para o teste de isolamento térmico observou-se que nos corpos de prova com composição 10# e proporção de resina 3 para MF, a temperatura se manteve constante num geral, na análise da Figura 21 conclui-se que não demonstrou menor temperatura ao final do ensaio, no entanto foi o que mais se manteve constante ao longo das aferições com temperatura ainda considerada desejável, em torno de 46°C.

Analisando a Figura 22, os corpos de prova com composição 10# e proporção de resina 4 para UF a partir de 90 segundos permaneceram relativamente constantes, no entanto, no ponto de 90 s ocorreu um pico para o referido corpo de prova e ainda assim na análise geral demonstrou mais constância ao longo do ensaio e ao final do ensaio também teve menor temperatura, cerca de 45°C.

Analisando a Figura 23 verificou-se que o corpo de prova de composição 10# e proporção de resina 4 para UF demonstrou melhor resultado, pois se manteve mais constante no que se refere as temperaturas ao longo do ensaio e menor temperatura na última aferição em 300 s, cerca de 45 °C, promovendo melhor isolamento frente ao isopor e ao EVA. Assim, essas placas oferecem bons resultados quanto às suas capacidades em isolar um ambiente termicamente.

CONCLUSÕES

Foi possível realizar a confecção de compósitos com diferentes granulometrias e proporções mássicas entre resina e casca obtendo resultados satisfatórios quando comparados com isolantes tradicionais, tais como o EVA e isopor.

Ainda ocorreu a avaliação das propriedades de densidade, isolamento acústico e térmico das diversas composições propostas de modo a alcançar resultados desejáveis quando comparados com a bibliografia.

Foi realizada a comparação das propriedades dos compósitos produzidos entre si e com outros materiais disponíveis no mercado e em bibliografia, de modo que se consolidou o processo de isolamento térmico e acústico do material estudado.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo a Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), pelo apoio financeiro no desenvolvimento do projeto, bem como em relação às bolsas de dois alunos envolvidos no projeto.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **ASTM C 271 - 99**. Standard test methods for density of sandwich core materials. United States, p 1 – 2.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **ASTM C 638-03**. Standard test methods for tensile properties of plastics. United States, p 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 12094:1991 - Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmico - Determinação da condutividade térmica**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 14810-1: 2002 - Chapas de madeira aglomerada. Parte 1: Terminologia**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 14810-3: 2002 Chapas de madeira aglomerada Parte 3: Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2002.

BATTISTELLE, R.A.G., SANTOS, M.F.N., MIYAZATO, T., REDIVO, C. e FREITAS, P.N.P. **Estudo comparativo entre chapas de partículas confeccionadas com diferentes resíduos e sua aplicação em design de produtos**. São Paulo, 2006. In: XIII SIMPEP. Bauru, 2006.

BRÜEL & KJAER. **Manual de utilização de software**. Disponível em: <http://www.bksv.com/products/handheld-instruments/sound-level-meters/pc-software-for-sound-level-meters/measurement-partner-bz5503.aspx>. Acesso em: junho 2013.

CALLISTER, JR. **Ciência a Engenharia de Materiais : Uma Introdução**. Rio de Janeiro: RJ LTC, 2008.

CAMPOS, C.I., LAHR, F.A.R. **Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de**

Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído. Revista Matéria, ISSN 1516-7076, 2004.

ÇENGEL, Y A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática.** McGraw-Hill, 2009.

CHIPANSKI, E. R. Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil. 2006. 193f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

DOMINGUES, R. M. A., SOUSA, G. D. A., SILVA, C. M., FREIRE, C. S. R., SILVESTRE, A. J. D., NETO C. P., “ **High value triterpenic compounds from the outer barks of several Eucalyptus species cultivated in Brazil and in Portugal** ”, Portugal, 2010.

EL BANNA, W. R ; PEREIRA, L. C. O. ; FUJIYAMA, R. T. . **MATERIAIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS POR FIBRAS DE BANANEIRA ORIENTADAS ALEATORIAMENTE.** In: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2012, São Luis. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2012.

FLORENTINO, W.M., BRANDÃO A., MILEO, P.C., GOULART, S.A.S., MULINARI, D.R. **Biocompósitos de Poliuretano reforçados com Fibras de Coco Verde.** Cadernos UniFOA. Volta Redonda, Ano VI. n. 17, dezembro 2011.

GUEDES, R.C. Projeto e construção de uma câmara reverberante em escala reduzida para caracterização acústica de materiais absorventes. Universidade Federal do Pará. Belém, 2007.

IOZZI, M. A.; MARTINS, G. S.; MARTINS, M. A.; FERREIRA, F. C.; JOB, A. E.; MATTOSO, L. H. C. **Estudo da Influência de Tratamentos Químicos da Fibra de Sisal nas Propriedades de Compósitos com Borracha Nitrílica.** São Paulo, 2010.

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

JOSHI, S.V.; DRZAL, L.T. MOHANTY,A.K. ARORA.S. **Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? Composites part A: Applied science and manufacturing.** V.35. n.3. 2004.

NETO, A.L., SILVA J.R.M., LIMA, J.T. e RABELO, J.F. **Efeito das diferentes madeiras no isolamento acústico.** v. 38, n. 4, Curitiba, 2008.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Paraná: Embrapa, 2000.

PINTO, R.B. **Determinação experimental e numérica da redução sonora aérea em paredes de alvenaria utilizadas em habitações.** Dissertação de mestrado (Engenharia Civil). Santa Maria, RS. 2011.

RAZERA, I. A. T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica.** 2006. 189 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SANTOS, L.M. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia.** Curitiba, 2006. 75f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2006.

SOUSA E. E. **Análise do Comportamento em Fadiga do Poli(Fluoreto de Vinilideno) (PVDF).** Rio de Janeiro, 2011.

VALLE, S. **Manual Prático de Acústica.** 3^o ed., Rio de Janeiro: Música e Tecnologia, 2009.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.** Curitiba - PR. 2011. 87 f.