

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL PARA ISOLAMENTO TÉRMICO: UMA
PROPOSTA PARA UTILIZAÇÃO DO POLIURETANO DE MAMONA COM
AGREGADO DE RESÍDUO PLÁSTICO TERMOFIXO**

por

MICHELLE PAIVA CRUZ
ENGENHEIRA DE PRODUÇÃO, UFRN, 2006

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE

MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JULHO, 2009

© 2009 **MICHELLE PAIVA CRUZ**
TODOS DIREITOS RESERVADOS

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL PARA ISOLAMENTO TÉRMICO DE
AMBIENTES: UMA PROPOSTA PARA UTILIZAÇÃO DE POLIURETANO DE
MAMONA COM AGREGADO DE RESÍDUO PLÁSTICO TERMOFIXO**

por

MICHELLE PAIVA CRUZ

ESPECIALISTA EM ENGENHARIA DE SUPRIMENTOS PARA PETRÓLEO E GÁS
UFBA, 2008
ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO, UFRN, 2006

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE COMO PARTE DO
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE

MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JULHO, 2009

© 2009 MICHELLE PAIVA CRUZ
TODOS DIREITOS RESERVADOS.

O autor aqui designado concede ao Programa de Engenharia de Produção da Universidade
Federal do Rio Grande do Norte permissão para reproduzir, distribuir, comunicar ao
público, em papel ou meio eletrônico, esta obra, no todo ou em parte, nos termos da Lei

Assinatura do Autor: Michelle Paiva Cruz

APROVADO POR:

Rodrigo José Pires Ferreira
Prof. Rodrigo José Pires Ferreira, D.Sc – Orientador, Presidente

George Santos Marinho
Prof.^a George Santos Marinho, D.Sc.– Co-Orientador, Membro Examinador
Interno

Carlos Henrique Catunda Pinto
Prof. Carlos Henrique Catunda Pinto, Dr., Membro Examinador Interno

Edna Santiago Benta
Prof. Edna Santiago Benta, Dr., Membro Examinador Externo (UNIVA)

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN/Biblioteca Central Zila Mamede
Divisão de Serviços Técnicos

Cruz, Michelle Paiva

Aplicação de resíduo industrial para isolamento térmico: uma proposta para utilização do poliuretano de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo / Michelle Paiva Cruz.- Natal, RN, 2009.

63 p. il.

Orientador: Rodrigo José Pires Ferreira.

Co-Orientador: George Santos Marinho; Otoniel Marcelino de Medeiros.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

1. Isolamento térmico - Dissertação. 2. – Resinas de poliuretano – Óleo de mamona - Dissertação. 3. Resíduos – Plásticos - Dissertação. 4. Polímeros – Dissertação. 5. Transferência de calor - Dissertação. I. Ferreira, Rodrigo José Pires.

II. Marinho, George Santos. III. Medeiros, Otoniel Marcelino de. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 66.045.3 (043.3)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL PARA ISOLAMENTO TÉRMICO:
UMA PROPOSTA PARA UTILIZAÇÃO DO POLIURETANO DE MAMONA
COM AGREGADO DE RESÍDUO PLÁSTICO TERMOFIXO**

MICHELLE PAIVA CRUZ

NATAL - RN
Julho, 2009

MICHELLE PAIVA CRUZ

**APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL PARA ISOLAMENTO TÉRMICO:
UMA PROPOSTA PARA UTILIZAÇÃO DO POLIURETANO DE MAMONA
COM AGREGADO DE RESÍDUO PLÁSTICO TERMOFIXO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Rodrigo José Pires Ferreira

Co-orientador: George Santos Marinho

Otoniel Marcelino de Medeiros

NATAL – RN

Julho, 2009

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu noivo,
Felippe, pelo amor e compreensão.

A meus pais, Maelson e Ângela,
que me educaram e sempre
acreditaram no meu potencial.

A meu irmão, Anderson, pela
amizade, companheirismo e
exemplo.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção que por meio de seus professores e funcionários possibilitou a realização dessa pesquisa.

Aos professores Rodrigo José Pires Ferreira, George Santos Marinho e Otoniel Marcelino de Medeiros pela orientação, apoio, exemplo e incentivo.

Ao Laboratório de Transferência de Calor da UFRN e ao Laboratório de Física do IFRN, que ofereceram a infra-estrutura necessária para a realização do projeto.

Ao Laboratório GGEMMA da UFRN, pela disponibilização do equipamento Quickline-30 para a realização dos ensaios térmicos.

Aos colegas do Laboratório de Transferência de Calor, em especial a Maria Cleide Ribeiro de Oliveira, Dorivalda Santos Medeiros Neira, Jacques Cousteau da Silva Borges e George Cruz, pelo apoio, orientações e paciência.

A Deus por dar a esperança e a força necessárias para perseverar nos momentos difíceis.

À minha família pela paciência, palavras de estímulo e confiança.

RESUMO

A aplicação de isolantes térmicos em sistemas construtivos promove vantagens com vistas ao conforto térmico de ambientes. E com isso, o aumento da produtividade em locais de trabalho, a sensação de bem-estar e a diminuição dos custos com climatização. A demanda por conforto ambiental, no âmbito da isolamento térmica, somada ao advento de novas leis que regulam os requisitos mínimos de conforto, as exigências dos consumidores pela adoção de métodos de produção mais “limpos”, a fiscalização quanto à destinação de resíduos industriais, além da inserção de produtos no mercado com apelos ambientais, incentivaram o desenvolvimento da presente pesquisa. O presente trabalho trata da aplicação do poliuretano, visando comparar o desempenho térmico do derivado de origem vegetal (óleo de mamona) com adição de resíduo plástico termofixo em diferentes proporções (5%, 10%, 15% e 20%), com o poliuretano petrolífero, a lã de vidro e a lã de rocha através da análise de suas propriedades térmicas (condutividade térmica – k , difusividade térmica – α e capacidade calorífica – C_p). . Após a realização dos ensaios, os compósitos estudados foram moídos e reutilizados como carga para novos compósitos. Com base nos resultados dos ensaios de propriedades térmicas, constatou-se que o material desenvolvido conduz menos calor que o poliuretano de petróleo, a lã de vidro e a lã de rocha, além de oferecer alta inércia térmica, bom desempenho térmico e baixo custo. Assim como foi comprovada a possibilidade de fabricação de novos compósitos para fins de isolamento, reutilizando os compósitos testados.

Palavras-chave: Poliuretano de mamona. Resíduo plástico termofixo. Isolamento térmico. Gestão de resíduos.

1. INTRODUÇÃO

As principais variáveis climáticas que influenciam o conforto térmico são a temperatura, a umidade, a velocidade do ar e a radiação solar incidente no local. É necessário estudar as propriedades térmicas dos materiais utilizados na construção para determinar o nível de conforto gerado pela edificação. Para Mascaró (1983) é preciso analisar a insolação, a ventilação, as trocas térmicas e o calor interno. Somadas a essas variáveis existem as vestimentas e as atividades desenvolvidas pelo indivíduo que também influenciam nas trocas de calor.

Quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente acontecem sem muito esforço, geralmente um nível satisfatório de conforto térmico é atingido, favorecendo o desempenho das atividades do homem. Entretanto, caso esse nível não seja alcançado, as sensações de frio e calor provocam queda no rendimento do trabalho e, em condições excepcionais, problemas de saúde. Portanto, em ambientes de trabalho em geral, a preocupação com o conforto térmico dos indivíduos é um fator determinante para alcançar os índices de produtividade desejados.

Lamberts *et al* (1997) identificaram na carta bioclimática de Natal/RN que em 14,7% das horas anuais o conforto térmico é alcançado. Eles afirmam que o desconforto é causado, principalmente, devido ao calor, sendo a sensação de frio responsável por uma parcela insignificante de 0,5%.

O conhecimento das condições climatológicas e das necessidades de conforto térmico em ambientes possibilita o planejamento e a análise do emprego de materiais isolantes térmicos nas edificações. A utilização de materiais que favoreçam o conforto nos ambientes proporciona uma redução de gastos com energia elétrica visto que exclui ou reduz a aplicação de sistemas de climatização de ambientes, bem como de manutenção dos mesmos.

A utilização de materiais que oferecem alta resistência térmica às edificações proporcionam uma redução nos gastos de energia em até 30% para prédios já construídos e em 50% para os que são planejados com essa preocupação (LAMBERTS *et al.*, 1997 *apud* BEZERRA, 2003).

Visto que os gastos com energia elétrica é um assunto que vem sendo discutido nos últimos anos devido à escassez de recursos hídricos, a utilização de materiais isolantes térmicos na construção das edificações passou a ser exigência dos construtores. Diante disso, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de descobrir materiais inovadores e provenientes de fontes renováveis que possuam bons desempenhos como isolantes.

Atualmente, os principais produtos comercializados como isolante térmico são a lã de vidro, a lã de rocha, o poliestireno expandido (EPS) e a espuma poliuretana de petróleo. Todos oferecem vantagens e desvantagens e, geralmente, são escolhidos de acordo com os objetivos que se desejam alcançar. Apesar da funcionalidade, esses materiais geram grande quantidade de resíduos no fim de sua vida útil e não são biodegradáveis.

Com a crescente preocupação da população com o meio ambiente, a implantação de alternativas que reduzam a geração de resíduos pelos diversos ramos de atividades tornou-se um importante fator competitivo, sendo um diferencial fundamental para a permanência de empresas no mercado.

Diante do exposto observou-se a oportunidade do presente estudo. A pesquisa tem como objetivo analisar a capacidade de isolamento térmico do poliuretano de mamona (PU), utilizando-se uma carga de resíduo plástico termofixo proveniente de uma indústria de botões do Rio Grande do Norte. A possibilidade de se encontrar um produto com as características que o classifique como isolante térmico e com o diferencial de ser biodegradável, ser de origem vegetal e ter o apelo ambiental da utilização de um resíduo tóxico como agregado, incentivou o estudo da viabilidade técnico-científica desse material. Com o intuito de determinar a quantidade de resíduo acrescentada ao PU de mamona que trará melhores resultados, o presente trabalho definiu a preparação de corpos de prova nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% de resíduo em massa e, posteriormente, as medições das propriedades térmicas (condutividade – k , difusividade – α e capacidade calorífica – c_p) dos mesmos a fim de comparar a eficiência térmica do novo material com os comumente comercializados e com o PU de mamona sem carga. Além disso, a determinação do desempenho térmico e da densidade, assim como a análise dos custos, são necessárias para poder dizer que o material proposto é um bom isolante térmico. Também foram realizados ensaios de propriedades

térmicas em compósitos de PU de mamona que utiliza como carga o material produzido nesta pesquisa nas proporções de 5%, 10% e 15% de resíduo, com o objetivo de encontrar uma aplicação que retarde, ainda mais, a ida do resíduo para o ambiente.

1.1. Objetivos do Trabalho

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a capacidade de isolamento térmica de um compósito de poliuretano de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Preparar corpos de prova com diferentes proporções de resíduo (0%, 5%, 10%, 15% e 20%);
- Medir as propriedades térmicas
- Comparar (PU petróleo, lã de vidro e lã de rocha);
- Determinar a densidade;
- Determinar o desempenho térmico;
- Preparar corpos de prova com carga de compósitos moídos;
- Medir as propriedades térmicas;
- Análise de custos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são discutidos alguns conceitos dos meios de transferência de calor e das propriedades térmicas de interesse da presente pesquisa para determinação da eficiência do poliuretano de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo.

2.1. Transferência de Calor

Em locais onde a radiação solar é intensa, como na região Nordeste do país, o fluxo de calor entre os ambientes externos e internos das edificações é bem maior. Uma edificação recebe energia térmica do meio externo através de mecanismos de radiação e convecção. Visto que sua face externa fica com temperatura superior a interna, há troca de calor por condução em direção à face “fria”. A intensidade desse fluxo dependerá, dentre outros fatores, da espessura e da capacidade calorífica do material utilizado, de sua densidade e do seu fator de condutividade térmica. Como o material aumenta sua temperatura, há uma transferência de energia térmica da face interna para o meio interno por radiação e convecção (BEZERRA, 2003).

2.1.1. Radiação

Toda matéria que se encontra a temperaturas maiores que 0 Kelvin, emite calor por radiação térmica. Esse mecanismo não necessita de um meio material para propagação, pois a energia é transferida através de ondas eletromagnéticas ou fótons e é chamada de calor radiante (KREITH, 1977). A taxa correspondente ao fluxo de calor emitido por radiação é encontrada a partir da equação abaixo:

$$Q_{\text{rad}} = A_1 * \delta * \epsilon_1 * (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.1)$$

Onde:

Q_{rad} = taxa de fluxo de calor radiante (W);

A_1 = Área da superfície que recebe o calor (m^2);

δ = constante de radiação de Stefan-Boltzmann ($5,67 * 10^{-8} W/m^2 * K^4$);

ϵ_1 = emissividade do material da superfície (adimensional);

T_1 = temperatura da superfície 1 (K);

T_2 = temperatura da superfície 2 (K).

Para determinação do fluxo de calor que se pretende obter através do processo de radiação é necessário observar, principalmente, a emissividade do material utilizado na construção. De acordo com Schmidt *et al.* (1996), a emissividade é a capacidade que uma superfície tem de fornecer energia térmica quando comparado a um corpo negro (radiador ideal). Portanto, a análise do material usado e do seu acabamento são essenciais para alcançar a eficiência energética desejada nas edificações.

2.1.2. Convecção

Quando os corpos se encontram em contato molecular, sendo, pelo menos um deles, um fluido em movimento, observam-se trocas de calor por convecção. O mecanismo ocorre em duas fases: na primeira o calor é transmitido por condução; e, na segunda, as alterações de temperaturas ocorridas no fluido modificam sua densidade, provocando deslocamento de massa de forma cíclica, originando as chamadas correntes convectivas (LAMBERTS, 2007). Calcula-se a taxa de fluxo de calor transmitido por convecção a partir da equação 2.2.

$$Q_{conv} = A * h * (T_1 - T_2) \quad (2.2)$$

Onde:

Q_{conv} = taxa de fluxo de calor transferido por convecção (W);

A = área da superfície que participa do processo de transferência de calor (m^2);

h = coeficiente médio de transferência de calor da convecção ($W/m^2 * K$);

T_1 = temperatura da superfície (K);

T_2 = temperatura do fluido circundante (K).

Segundo Bezerra (2003), o fluxo de calor transferido por convecção é influenciado pelo fluido que escoar sobre a superfície, pela natureza do escoamento, pelo acabamento e inclinação da superfície, por várias propriedades termodinâmicas e de transporte do fluido, entre outros fatores.

2.1.3. Condução

De acordo com Lamberts (2007), a condução ocorre através do contato entre as moléculas de corpos que apresentam temperaturas diferentes entre si. O fluxo de calor é transmitido do corpo que possui maior temperatura para o de menor temperatura, isto é, do elemento cujas moléculas possuem maior energia cinética para os que apresentam menor energia em um meio estacionário. Portanto, para os fluidos em repouso o transporte de energia térmica é realizado a partir do movimento cinético ou do impacto direto das moléculas, enquanto que nos metais é causado pelo movimento dos elétrons, até que seja atingido um estado de equilíbrio térmico (KREITH, 1977).

A taxa de transferência de calor por condução é determinada pela Lei de Fourier-Biot.

$$Q_{\text{cond}} = Ak/L * (T_1 - T_2) \quad (2.3)$$

Onde:

Q_{cond} = taxa de transferência de calor por condução (W);

A = área da superfície que participa do processo de transferência de calor (m^2);

k = condutividade térmica do material ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$);

T_1 = temperatura da superfície 1 (K);

T_2 = temperatura da superfície 2 (K);

L = distância entre as superfícies 1 e 2 (m).

A condutividade térmica (k) é uma propriedade do material que indica a “quantidade de calor que flui através de uma área unitária se o gradiente de temperatura for unitário”. Para determinação de materiais a serem utilizados

em edificações, essa propriedade depende diretamente da densidade do corpo, da dimensão e localização dos poros, da composição química, da emissividade da superfície, da pressão e do tipo de fluido confinado nos poros (SCHMIDT *et al*, 1996). Além disso, o valor de k é afetado tanto pela temperatura como pela umidade encontrada no material. Dessa forma, conclui-se a importância da observação dessa propriedade térmica nos materiais para caracterizá-los como isolantes térmicos.

2.2. Propriedades Térmicas

As propriedades térmicas consideradas nessa pesquisa para a determinação da eficiência térmica do material estudado foram a condutividade térmica, a difusividade térmica e a capacidade calorífica. Visto que a primeira já foi discutida no item anterior, as demais serão descritas a seguir.

2.2.1. Difusividade Térmica

A difusividade térmica (α) determina a relação entre a capacidade que o material tem de conduzir e sua capacidade de armazenar energia. Isto é, expressa a velocidade com que o corpo se ajusta por inteiro à temperatura que o rodeia. A difusividade térmica pode ser obtida a partir da seguinte equação:

$$\alpha = k/\rho \cdot c_p \quad (2.4)$$

Onde:

α = difusividade térmica (m^2/s);

ρ = massa específica (kg/m^3);

k = condutividade térmica ($W/m \cdot K$);

c_p = calor específico do material ($J/kg \cdot K$).

Pode-se dizer que materiais com baixa difusividade transferem mais lentamente as variações de temperatura externa para o interior das edificações.

2.2.2. Capacidade Calorífica

Wylen e Sanntag (1976) *apud* Neira (2005) definem calor específico através da equação:

$$c_p = (\partial h / \partial T)_p \quad (2.5)$$

Onde:

c_p = calor específico à pressão constante (J/Kg*k);

h = entalpia específica (J/kg*K).

A capacidade calorífica (C) é determinada pela variação térmica de um corpo ao receber uma quantidade de calor capaz de elevar sua temperatura em uma unidade de variação de temperatura. Pode-se defini-la como sendo o produto da massa do corpo pelo calor específico do mesmo e, através do desdobramento da equação, calculá-la em função do volume (J/m³*K).

$$C_p = (m/V) * c_p \rightarrow m = \rho * V \rightarrow C_p = \rho * c_p \quad (2.6)$$

A quantidade de calor que fica armazenada no material durante o processo de transferência de calor é denominada inércia térmica e depende diretamente da capacidade calorífica do sólido. Ou seja, materiais que possuem elevada inércia térmica permitem a diminuição da amplitude de variação de temperatura no interior dos ambientes, gerando a sensação de conforto térmico (BEZERRA, 2003).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Questão Ambiental

Atualmente, a sociedade passou a reconhecer que o crescimento econômico ilimitado no planeta, que possui recursos naturais finitos, leva a desastres ambientais que o homem já começou a sentir. Portanto, as empresas têm feito uma restrição ao conceito de crescimento e passaram a introduzir a questão ecológica como critério fundamental das atividades de negócio. Ou seja, a sustentabilidade deixou de ser uma função exclusiva de proteção para tornar-se também uma função da administração.

O desenvolvimento sustentável agora é contemplado na estrutura organizacional das empresas, interferindo no planejamento estratégico, na execução das atividades de rotina, na discussão de cenários alternativos de atuação e na conseqüente análise de sua evolução, gerando políticas, métodos e planos de ação com o objetivo de conseguir significativas vantagens competitivas, assim como redução de custos e aumento nos lucros a médio e longo prazo (TACHIZAWA & ANDRADE, 2008).

As atividades voltadas para melhorar a qualidade de vida e preservar o meio ambiente deixaram de ser realizadas apenas pelas organizações não-governamentais e tornaram-se objetivos a serem alcançados também pela iniciativa privada através da utilização de tecnologias mais limpas, projetos de desenvolvimento sustentável, gestão de resíduos sólidos industriais e reciclagem de materiais.

Segundo Tachizawa & Andrade (2008), a América Latina possui graves problemas ambientais com a geração de 350 mil toneladas de resíduos sólidos por dia. Em contrapartida, a indústria de reciclagem do mundo movimenta anualmente 600 milhões de toneladas de lixo, faturando US\$160 bilhões. No Brasil, esse setor gera recursos de, aproximadamente, US\$1,2 bilhão por ano, o que equivale a apenas 20% da capacidade existente.

Os polímeros são considerados os maiores vilões ambientais visto que demoram séculos para se degradar, ocupam grande parte dos aterros sanitários e quando despejados em locais inadequados, como lixões, rios e encostas, causam um impacto muito maior ao meio ambiente, pois contribuem para a proliferação de insetos e prejudicam a qualidade de vida dos seres vivos

que habitam o lugar.

De acordo com Alves (2005) os polímeros são compostos de alto peso molecular que se destacam pelo seu tamanho, estrutura química e interações intra e inter-moleculares. São formados por ligações covalentes de unidades químicas que se repetem ao longo da cadeia denominadas “meros”. A união de monômeros diferentes ao longo da cadeia molecular de um polímero resulta em um copolímero, enquanto que a repetição de um único monômero gera um homopolímero.

Os polímeros podem ser naturais ou sintéticos. Os primeiros são derivados de plantas e animais e fazem parte do nosso cotidiano, como a madeira, o algodão, o couro, a lã, entre outros. Os sintéticos são produzidos a partir de reações químicas conhecidas como polimerização, como o polipropileno (PP), o polietileno (PE), o poli(tereftalato de etileno – PET), o poli(cloreto de vinila – PVC), entre outros (SPINACÉ, 2005). Atualmente, vários polímeros naturais vêm sendo substituídos por sintéticos, como peças de metais e madeira, devido ao custo de produção ser baixo e às propriedades poderem ser facilmente manipuladas durante o processo de formação (ALVES, 2005). Por exemplo, a resistência ao escoamento é proporcional ao comprimento da cadeia molecular, assim como a cristalinidade, definida como a medida da regularidade e da perfeição da estrutura molecular, determina a natureza e o comportamento do plástico. Ou seja, o material é mais resistente quanto maior for o paralelismo e menor for a distância entre as cadeias. Além disso, a simetria das cadeias influencia na resistência mecânica, no ponto de fusão e na estabilidade do material (MEDEIROS, 2005).

As características mecânicas permitem classificar os polímeros em duas categorias: termoplásticos e termorrígidos (ou “termofixos”).

Os termoplásticos podem ser fundidos diversas vezes, sua reciclagem já está integrada à cadeia produtiva de muitas indústrias. Em temperatura ambiente, podem ser maleáveis, rígidos ou frágeis. Isto é, são materiais que não sofrem alterações significativas em suas cadeias quando aquecidos ou resfriados. A exposição ao calor ou ao frio permite moldá-los pois modifica sua consistência, variando entre sólida e viscosa. Alguns exemplos dessa família são: polietileno (PE), polipropileno (PP) e poli(tereftalato de etileno), mais conhecido como PET.

Termorrígidos (ou termofixos) são polímeros que podem ser rígidos ou frágeis, sendo muito estáveis quando sujeitos a variações de temperatura. Por possuírem uma cadeia em rede, ou seja, com cadeias laterais, não possuem mobilidade e, quando expostos ao calor sofrem transformações químicas e endurecem. Uma vez prontos, não mais se fundem – o aquecimento resulta na decomposição do material antes da fusão, aspecto que praticamente inviabiliza a reciclagem. Em outras palavras, uma vez que os termofixos atingem seu grau de dureza característico, permanecem assim e não mais se modificam mesmo com reaquecimento.

De acordo com Spinacé & De Paoli (2005), os principais resíduos sólidos urbanos encontrados nas grandes cidades brasileiras são o polietileno de alta e baixa densidade, o PET, o PVC e o PP, sendo os demais polímeros responsáveis por 11% do lixo. Conforme Cangemi (2006), algumas alternativas de destinação para resíduos poliméricos vêm sendo estudadas. Entre elas estão a incineração, a reciclagem e a biodegradação.

A incineração consiste na combustão do lixo, reduzindo o volume deste em aterros. Porém possui um custo bastante elevado e, em alguns casos, pode ser de alto risco visto que certos materiais podem liberar gases nocivos à saúde da população (CANGEMI, 2006).

A reciclagem aproveita os resíduos de produtos encontrados em lixões, sucatas e, ultimamente, adquiridos na coleta seletiva. Várias soluções interessantes já foram encontradas, mas a escassez de empresas interessadas em comprar o material separado, a dificuldade em separar os materiais e em garantir um fornecimento contínuo de matéria-prima de boa qualidade aos compradores são desvantagens que ainda não foram vencidas (CANGEMI, 2006).

Em 2000 estimou-se que a reciclagem de polímeros no Brasil crescia em média 17,5% ao ano, destacando-se o PET dentre os materiais reciclados pelos altos índices atingidos em um curto período de existência. Atualmente, o PET reciclado é utilizado como fibra têxtil, mantas de não tecido, cordas, resinas insaturadas, embalagens, cerdas de vassouras e escovas, entre outros.

A biodegradação é a conversão do material em substâncias mais simples a partir da alteração de sua estrutura química pela ação de

microrganismos presentes no meio ambiente (CANGEMI, 2006).

O resíduo empregado nessa pesquisa e a resina poliuretânica utilizada, caracterizam-se como sintéticos e termofixos, o que denota a dificuldade de aplicação e impossibilidade de reciclagem, bem como os problemas ambientais ocasionados por eles. Entretanto, Cangemi (2006) provou a capacidade de biodegradação de espumas de poliuretano derivado do óleo de mamona por microrganismos oriundos de agentes biológicos degradadores de gordura. Os resultados da pesquisa permitiram a constatação da maior biodegradabilidade do PU de mamona em comparação ao PU de petróleo devido à possibilidade do mecanismo que ocorre no primeiro, ser semelhante ao processo de degradação das gorduras visto que ambos são de origem vegetal.

3.1.1. Resíduo Plástico Termofixo

John (1996) *apud* Kawabata (2003) classifica resíduo como sendo todo produto secundário gerado de um processo produtivo, isto é, como um sinônimo de subproduto. Em contrapartida, alguns autores diferenciam subproduto de resíduo, visto que acreditam que os primeiros são resíduos que adquirem valor comercial (VALLE, 1995 e CINCOTTO, 1988 *apud* KAWABATA, 2003).

O resíduo utilizado na pesquisa é proveniente do processo de usinagem e acabamento da maior fábrica de botões da América Latina, localizada no município de Parnamirim/RN. Os botões são produzidos a partir da mistura de resina, aditivo, catalisador e acelerador em quantidades que variam de acordo com a necessidade do cliente (MEDEIROS, 2005). Na tabela 3.1 são apresentadas as composições químicas dessas matérias-primas.

Tabela 3.1 - Composição química dos elementos constituintes do plástico termofixo

ELEMENTO	COMPOSIÇÃO
Resina	Anidrido maleico ($C_4H_2O_3$) Anidrido ftálico ($C_8H_4O_3$) MET (Monoetilenoglicol) DEG (Dietelenoglicol) Monômero de estireno
Aditivo	Hidroquinoma TBC (Paraterciário butil catecol)
Catalisador	MEKP (Peróxido de metil etil cetona)
Acelerador	Cobalto (Nartanato de cobalto)

Fonte: MEDEIROS, 2005.

Estima-se que para cada botão produzido, 50% de sua matéria-prima seja transformada em resíduo plástico termofixo durante as operações de usinagem e acabamento (ver figura 3.1).



Figura 3.1 – (a) botão antes da usinagem e do acabamento; (b) botão após usinagem e acabamento.

A busca de soluções para destinação deste resíduo plástico termofixo continua difícil visto que sua colocação em aterros vem se tornando impossível devido ao grande volume de material despejado e à sua inflamabilidade (figura 3.2). Somado a isso, tem-se a constante dificuldade de reciclagem de plásticos

termofixos por sua natureza irreversível.



Figura 3.2 – Resíduo plástico termofixo da indústria de botões

Omorí (2000) aplicou o sistema de sinterização por plasma em plásticos termofixos, chegando à conclusão de que esse sistema necessita de menos energia e tempo para consolidação do polímero no pó que lhe deu origem, reduzindo os custos e oferecendo uma alternativa de destinação para esse material.

Segundo Medeiros (2005), quando entra em combustão, o resíduo plástico termofixo libera gases extremamente nocivos à saúde dos seres vivos, inviabilizando a destinação por incineração. Alguns dos gases liberados são o ácido acrílico, o tolueno, o fenol, as dioxinas e os furanos.

O tolueno penetra nas vias respiratórias, causando irritações nas mucosas, brônquios, laringe, bronquite, entre outras. Em contato prolongado com a pele provoca ressecamento, fissuras e dermatites. Ao atingir o sistema nervoso, age como depressor, podendo causar distúrbios psíquicos como dor de cabeça, confusão, tontura, perda de coordenação motora, entre outros; e doenças neurológicas. Provoca também conjuntivite transitória, queimadura da córnea, infarto do miocárdio e morte súbita (FORSTER, 1994).

O fenol é um gás absorvido através das mucosas e da pele. Tem efeito corrosivo, causando ulcerações e queimaduras de até terceiro grau, além de afetar as funções renais e o sistema nervoso central. As intoxicações agudas provocam transtornos digestivos, palidez, sudorese, cefaléia, vertigens e fraqueza (MEDEIROS, 2005).

De acordo com Assunção e Pesquero (1999), tanto as dioxinas quanto

os furanos são considerados gases extremamente nocivos para a saúde humana. Ambos provocam o surgimento de vários tipos de câncer como o da língua, do fígado, do palato, etc., assim como neuropatias e perda de peso. Destacam-se também os distúrbios hormonais, a redução das defesas orgânicas (assemelhando-se à AIDS) e as más formações e óbitos fetais.

Diante disso, observa-se a urgência de soluções para a destinação do resíduo plástico termofixo em questão. A preocupação passa a ser não apenas da empresa produtora devido às exigências da legislação e à pressão por parte dos clientes por ações ambientalmente corretas, mas também da comunidade que vive nos arredores dos aterros e que são os maiores prejudicados pelo contato com os gases e com o material em sua forma pulverulenta.

Medeiros (2005) testou várias alternativas para aplicação do resíduo plástico termofixo da indústria de botões. Entre elas pode-se citar a decomposição térmica do material por tocha de plasma, a utilização como carga para blocos de solo-cimento, como preenchimento dos espaços vazios dos oito furos dos blocos cerâmicos, o uso em blocos para lajes pré-moldadas, em revestimento interno de alvenaria com gesso e em blocos com argamassa de cimento.

No tratamento com tocha de plasma, uma corrente elétrica é direcionada por um fluxo de gás à baixa pressão, gerando um campo térmico de plasma onde as temperaturas variam entre 5.000°C e 15.000°C. Quando colocado na zona de alta temperatura, o resíduo tem suas moléculas reduzidas a seus elementos atômicos básicos (KOSTIÉ, 2000 *apud* MEDEIROS, 2005). Observou-se que a decomposição do resíduo por plasma gerou 0,005% de cinzas, sobrando, para cada tonelada de resíduo, apenas 0,05kg de cinzas. Acredita-se que quando a legislação ambiental for mais rigorosa, o tratamento com tocha de plasma torne-se economicamente viável, podendo ser consideradas as vantagens advindas do aproveitamento da tarifa horo-sazonal.

Os blocos de solo-cimento possuem vantagens como a facilidade de produção e o baixo custo. Os blocos são obtidos pela mistura de solo, cimento e água e resulta em um material com resistência à compressão, relativa impermeabilidade e baixo índice de retração volumétrica. Associada a essas características, com a adição de resíduo plástico termofixo substituindo parte do cimento *Portland*, os blocos de solo-cimento tornam-se ainda mais baratos e

mais leves (figura 3.3). Através da realização de ensaios mecânicos e térmicos, constatou-se que é possível fabricar blocos em alvenaria de construção de classe C e que o resíduo plástico termofixo funciona como material isolante térmico, aumentando a resistência à transferência de calor.

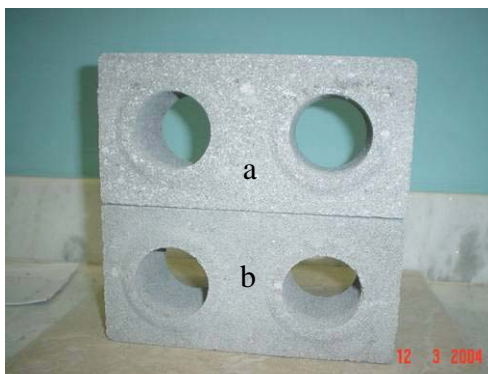


Figura 3.3 - Blocos de solo-cimento: (a) com agregado de resíduo plástico; (b) sem agregado (bloco “padrão”).

Os blocos cerâmicos de oito furos foram preenchidos manualmente com resíduo plástico termofixo com o objetivo de analisar o desempenho térmico de uma parede construída com esses elementos e observou-se uma redução no fluxo de calor devido à restrição às correntes convectivas no interior dos furos (figura 3.4). Por ser um material pulverulento, o ar permanece aprisionado entre as partículas, diminuindo também a condução de calor, resultando no aumento da resistência à passagem de calor.

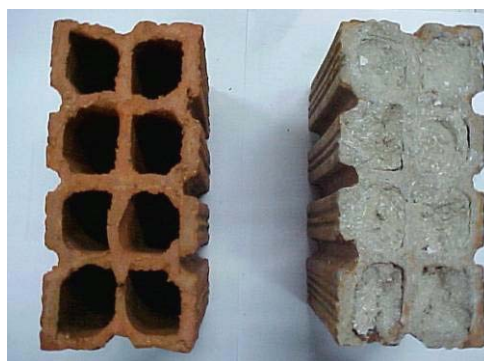


Figura 3.4 - Blocos cerâmicos 8 furos com e sem resíduo

Medeiros (2005) também aplicou o resíduo plástico termofixo como agregado miúdo em blocos de argamassa de cimento (figura 3.5). As propriedades térmicas e mecânicas foram analisadas e concluiu-se que, respeitando-se os valores de resistência mecânica, as propriedades térmicas (condutividade térmica, difusividade térmica e capacidade calorífica) não apresentam grandes diferenças quando comparadas às apresentadas pelo

bloco de argamassa de cimento sem adição do resíduo. Com relação à resistência à compressão, observou-se a possibilidade de utilização dos blocos com adição de resíduo para argamassa de vedação tipo B.

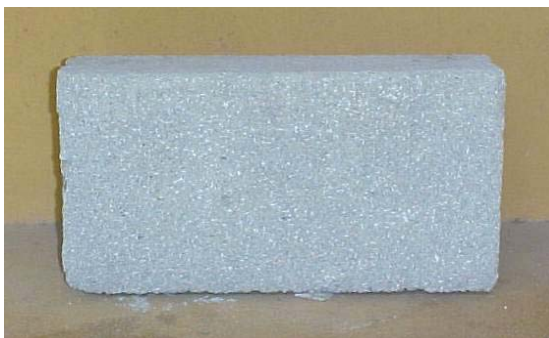


Figura 3.5 - Bloco de argamassa com resíduo plástico

Os blocos para lajes pré-moldadas não foram testados mecanicamente. Porém, como para esta função os blocos podem apresentar menor resistência à compressão e sabe-se que a utilização do resíduo plástico termofixo reduziria em até 18% o peso da laje, representando uma redução da carga estrutural das edificações, acredita-se que é viável a produção dos mesmos, inclusive economicamente, pois a utilização do resíduo teria um custo 45% inferior ao dos blocos convencionais (MEDEIROS, 2005). Da mesma forma, o uso para revestimento interno, aproveitando o resíduo na produção de pasta plástico-gesso, em partes iguais de volume, para utilização em acabamentos texturizados concluiu-se que o custo seria reduzido a 40% quando comparado aos revestimentos convencionais com argamassa de cimento/areia.

Melo (2009) produziu compósitos da união de concreto celular espumoso e resíduo plástico termofixo de botões para serem utilizados em lajes pré-moldadas para substituir o EPS. Observou-se que a substituição de cimento pelo resíduo de polímero plástico proporciona bom isolamento térmico, leveza, resistências mecânica e ao fogo, assegurando condições de conforto e segurança ao usuário.

A utilização do resíduo plástico termofixo como carga em compósitos já vem sendo objeto de estudo nos últimos anos, obtendo resultados satisfatórios com relação às propriedades mecânicas e térmicas. Este trabalho estudará mais uma alternativa para a destinação do resíduo.

3.2. Conforto Térmico

As facilidades trazidas com os sistemas de condicionamento de ar e iluminação artificial vinham gerando uma despreocupação nos projetos das edificações com o consumo de energia elétrica empregada para fins de conforto térmico. Porém, ultimamente os arquitetos e engenheiros vêem as influências das dimensões, da orientação das fachadas, do número, tamanho e disposição das aberturas, assim como dos materiais empregados na construção. Isto porque estes fatores influenciam diretamente no desempenho térmico das edificações, favorecendo a eficiência energética, melhorando o conforto dos usuários e aumentando a produtividade no trabalho (DARÉ et al, 2005).

Segundo Lamberts *et al.* (1997) *apud* Bezerra (2003), em 1992 o Brasil consumia 229 TWh de energia elétrica, os quais 42% eram utilizadas pelas instalações residenciais, comerciais e públicas. Responsáveis pelo maior consumo, as residências correspondiam a 23% do consumo de energia nacional, enquanto os setores comercial e público respondiam por 11% e 8%, respectivamente. Os condicionadores de ar estavam presentes em apenas 10% dos lares e representavam 7% do consumo de energia doméstica. Porém, a maior parte dos 19% consumidos pelas edificações públicas e comerciais era destinada à iluminação e climatização.

Nos últimos anos a limitação dos recursos energéticos vem afligindo a população, como foi o caso do programa criado pelo Governo em 2001, época na qual o país passava por sua maior crise energética. Segundo o programa as pessoas estavam sujeitas a multas se ultrapassassem o consumo de energia elétrica estipulado. Além disso, os altos investimentos requeridos para a produção de energia reforçam a necessidade de se buscar alternativas para a redução do consumo, que tende a crescer aceleradamente, nos setores residencial, comercial e público.

Dentre as alternativas arquitetônicas e de engenharia, ressalta-se a utilização de materiais para isolamento térmico a fim de reduzir os ganhos de calor e, assim, melhorar o conforto nos ambientes. Bezerra (2003) cita o exemplo do “Pavilhão de Sevilha”, na Espanha, o qual utilizou essa estratégia

no projeto, permitindo a redução de consumo de energia a um quarto do que seria necessário por um sistema de condicionamento de ar para obtenção de conforto térmico pelos usuários. Henriques (2007) comenta o caso de Portugal onde, desde 2007, vem implementando ações de certificação para edifícios a serem construídos e já existentes com o intuito de isolá-los termicamente e, assim, reduzir custos com materiais e aumentar a eficiência energética. Segundo Pinheiro (2008), no Brasil, o Ministério das Minas e Energia em parceria com a Eletrobrás criou um Programa Nacional de Eficiência Energética (Procel Edifica) o qual elaborou a “Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos” onde para atingir o nível A de eficiência as coberturas das edificações devem ter transmitância térmica de, no máximo, $1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ para os ambientes com climatização; e, de $2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ para ambientes não climatizados.

A análise do comportamento térmico dos materiais utilizados em coberturas e paredes é de suma importância para a redução das trocas de calor entre os ambientes externos e internos das edificações. Portanto, a compreensão dos processos de transferência de calor é necessária para propor o uso de produtos que diminuam o fluxo, levando em consideração fatores econômicos, funcionais e de segurança. A partir desses conceitos pode-se determinar quais as características necessárias para classificar um material como bom isolante térmico.

3.3. Isolantes Térmicos

Os isolantes térmicos são utilizados com o objetivo de reduzir as trocas de calor entre um sistema e um meio. O isolamento pode ser utilizado para diversas finalidades, como o condicionamento da temperatura em um ambiente (climatização), conforto térmico, proteção de estruturas a fim de evitar dilatações em lajes, conservação, estocagem e processamento de alimentos, economia de energia, entre outras (FENILLI, 2008).

Os materiais isolantes térmicos apresentam baixo coeficiente de condutividade térmica (k), o que implica em baixa densidade e alta resistência

térmica devido à porosidade. Portanto, quanto maior o número de poros do material, maior a presença de gases ou ar em seus vazios, o que impede a transferência de calor (BEZERRA, 2003).

Segundo Torreira (1980) *apud* Neira (2005) um bom isolante térmico deve possuir as seguintes características:

- baixo coeficiente de condutividade térmica;
- boa resistência mecânica;
- baixa massa específica;
- incombustibilidade ou auto-extinguibilidade;
- estabilidade química e física;
- alto calor específico;
- baixa difusividade térmica;
- baixo coeficiente de higroscopicidade;
- facilidade de aplicação;
- resistência ao ataque de roedores, insetos e fungos;
- ausência de odor; e,
- economia.

Sabe-se que nenhum material possui todas essas propriedades, porém procura-se um que aproxime-se ao máximo de cada uma delas, analisando-se a finalidade para a qual a edificação vai ser utilizada.

Entre os materiais que vêm sendo empregados na construção civil com a finalidade de controlar as trocas de calor entre o ambiente externo e interno, principalmente nas paredes e coberturas das edificações que sofrem incidência direta da radiação solar, encontram-se os naturais e os industrializados. Pode-se citar como naturais a cortiça, as penas de aves, as cascas de cereais (arroz, trigo, entre outros), algumas argilas que permitem ser expandidas e as fibras de madeira. Como industrializados tem-se o poliuretano, as lãs de vidro e de rocha, o poliestireno expandido (EPS), entre outros.

O EPS apresenta-se na forma de chapas retangulares, porém é bastante adaptável ao formato que se deseja aplicar. Sua capacidade de isolar termicamente os ambientes é devido à sua estrutura celular fechada, cujo ar reduz a passagem de calor, e outras características, como baixa densidade, não ser higroscópico, boa resistência mecânica, facilidade de aplicação, baixo

custo, dentre outras (FENILLI, 2008).

Conforme Fenilli (2008), a lã de vidro é considerada um dos mais tradicionais produtos para isolamento térmico e acústico em ambientes, podendo ser encontrada no mercado em rolos ou painéis, o que facilita sua aplicação. O aumento no consumo da lã de vidro, principalmente na construção civil, deve-se à sua leveza, à facilidade de manuseio, à incombustibilidade, ao fato de não favorecer a proliferação de fungos ou bactérias e não atacar superfícies com as quais estão em contato. Além disso, sua eficiência como isolante térmico não é comprometida ao longo do tempo pela sua exposição a intempéries como a maresia (Metallica, 2008).

De acordo com Fenilli (2008), por possuir baixa condutividade térmica (k), apresentar boa resiliência, ser incombustível e não higroscópico devido à sua estrutura não capilar, e oferecer custo/benefício favorável, a lã de rocha vem sendo bastante aplicada como isolante térmico, em forma de placa ou manta, podendo ser utilizada em sistemas com elevadas temperaturas de trabalho.

O poliuretano (PU) usado na construção civil é considerado o melhor isolante térmico conhecido devido à sua baixa condutividade térmica (k), boa resistência à compressão e estabilidade dimensional. Além disso, suas aplicações são das mais variadas, podendo ser usado em painéis frigoríficos, caminhões e containeres refrigerados, isolamento e preenchimento de cavidades de difícil acesso, dentre outras (FENILLI, 2008).

O presente trabalho trata da aplicação desse material, visando comparar o desempenho do derivado de origem vegetal (óleo de mamona) e resíduo plástico termofixo, com o poliuretano petrolífero, a lã de vidro e a lã de rocha através da análise de suas propriedades térmicas (condutividade térmica – k, difusividade térmica – α e capacidade calorífica – C_p).

3.4. Poliuretanos

Os poliuretanos são polímeros resultantes da reação de poliadição de dois ou mais isocianatos com um polioliol (álcool polifuncional), formando um uretano (figura 3.6). Ao contrário dos outros polímeros, os poliuretanos não

possuem uma fórmula empírica que o represente (SILVESTRE, 2001).

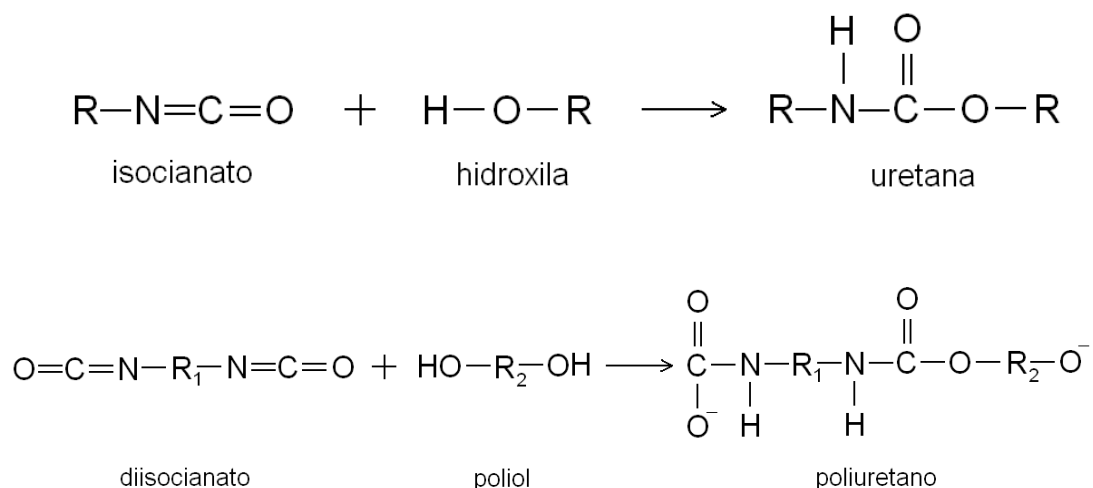


Figura 3.6 – Reações de poliadição

Segundo Silvestre (2001), os isocianatos são caracterizados pela alta reatividade dos compostos constituídos por ele, portanto, torna-se necessário uma pré-polimerização que consiste na reação de um di ou poliisocianato com um poliol, com as quantidades previamente determinadas para liberação da proporção desejada do grupo isocianato. Nesse caso, a polimerização ocorrerá com a mistura do pré-polímero com o poliol final (figura 3.7).

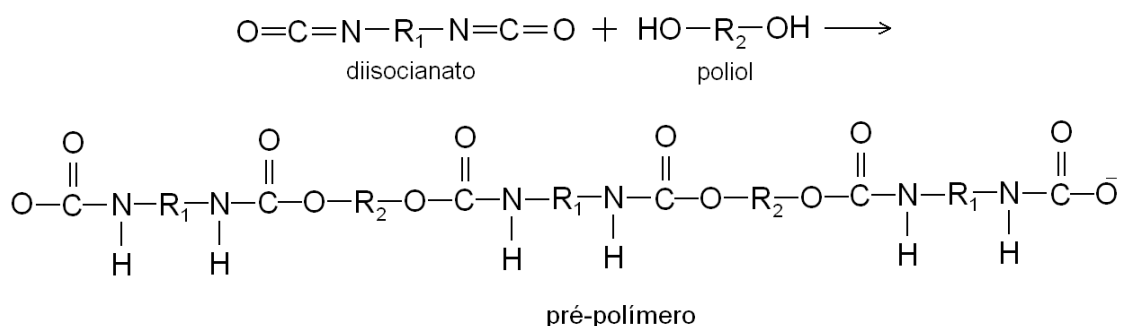


Figura 3.7 – Reação de aquisição do pré-polímero

O poliuretano é um polímero que pode ser derivado do petróleo ou de óleos vegetais como milho, soja, girassol, mamona, palmeira, entre outros. Atualmente, os óleos vegetais vêm sendo mais utilizados devido à necessidade de uso de recursos renováveis. A partir de seus elementos constituintes, o PU pode ser um termofixo, termoplástico, elastômero, espuma rígida ou adesivo (SILVA, R., 2003).

As propriedades que se deseja alcançar com os poliuretanos são determinadas de acordo com a massa molecular e a funcionalidade, assim

como o tipo de poliál utilizado na polimerização. Este pode ser encontrado na forma de poliéteres e poliésteres, os quais fornecem propriedades térmicas e resistência a substâncias corrosivas diferentes um do outro (SILVESTRE, 2001). O poliál utilizado no presente trabalho é um poliéster.

A partir de 1930, Otto Bayer desenvolveu os poliuretanos, abrindo o mercado para suas aplicações, como as espumas rígidas, os adesivos e as tintas (SILVA, R., 2003). Durante a Segunda Guerra Mundial seu emprego em fibras, cerdas e revestimentos foi bastante difundido. Na década de 50 iniciou-se o consumo de espumas flexíveis, enquanto nos anos 60, o desenvolvimento de poliuretanos com clorofluorcarbonos (CFC) como agentes de expansão começou a ser usado para isolamento térmico. Entretanto, a partir de 1990 a preocupação com o meio ambiente incentivou pesquisas para substituição do CFC por outros agentes (ALVES, 2005).

Conforme Alves (2005), o mercado latino-americano de PU cresce em uma taxa de 4% ao ano, com um consumo previsto para este ano de 720 mil toneladas, conforme especificado na tabela 3.2. Esse consumo acelerado é justificado pela substituição de outros produtos por poliuretanos, principalmente nas aplicações em colchões e estofados, em automóveis (volantes, painéis, assentos e pára-choques), em refrigeradores e na construção civil.

Tabela 3.2 – Produção de PU na América Latina 1998-2008 (1000 t)

PAÍS	1998	2003	2008
México	131	156	191
Brasil	283	292	367
Argentina	55	34	36
Outros países	109	110	129
TOTAL	579	591	723

Fonte: Alves, 2005.

A legislação ambiental brasileira e a crescente preocupação da sociedade quanto à destinação de resíduos industriais motivaram a substituição dos materiais derivados do petróleo por materiais de origem vegetal, como o óleo de mamona.

3.4.1. Poliuretano de Óleo da Semente de Mamona

Segundo Melo (2007), o clima tropical, característico da região nordeste do Brasil, é favorável para a produção da planta *Ricinus Communis* cuja semente dá origem ao óleo de mamona. Este material é um líquido viscoso e bastante estável em variadas condições de pressão e temperatura. O óleo de mamona é composto por, aproximadamente, 90% de ácido ricinoléico, o que confere propriedades de um álcool devido à presença do grupo hidroxila, sendo o restante constituído de ácidos graxos não hidroxilados, como pode ser observado na tabela 3.3.

A hidroxila, além de fornecer propriedades únicas, dá versatilidade e solubilidade diferentes de outros óleos vegetais encontrados no mercado. Tais características tornam possível a aplicação desse material em vários produtos industrializados como próteses ósseas, cosméticos, vidros à prova de balas, fibra ótica, lubrificantes, entre outros (ALVES, 2005).

Tabela 3.3 – Composição média do óleo de mamona.

COMPONENTE	PERCENTAGEM
Ácido ricinoléico	89,5
Ácido palmítico	1,0
Ácido linoléico	4,2
Ácido linolênico	0,3
Ácido dihidroxiesteárico	0,7
Ácido estereático	1,0
Ácido oléico	3,0
Ácido eicosanico	0,3

Fonte: PEPLIS, 1991.

Devido à sua grande pureza e à possibilidade de sintetizá-lo através de pré-polímeros, o óleo de mamona é muito utilizado na fabricação de poliuretanos. Inclusive, a versatilidade, a origem natural e renovável, a alta resistência aos agentes agressivos e seu preço 30% menor, o torna um produto melhor que os polímeros derivados do petróleo (PROQUINOR, 2006).

Nos últimos anos, o governo brasileiro criou um programa de incentivo à fabricação de biodiesel a partir de óleo de mamona, com o intuito de substituir o Diesel. Com o aumento dos investimentos nacionais para produção de mamona o número de oportunidades de emprego cresceu, assim como a qualidade de vida da população empobrecida do nordeste brasileiro melhorou. Em 1990, o Brasil foi o maior produtor mundial de óleo de mamona, ocupando, em 2005, o 5º lugar, perdendo mercado para a Índia, seu maior concorrente, e para a China (ALVES, 2005).

Novas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de descobrir novas aplicações para o óleo de mamona. Na UFRN, alguns trabalhos de mestrado e doutorado vêm estudando aplicações das poliuretanas derivadas desse óleo na indústria.

3.4.2. Pesquisas com poliuretanos

Vianna (1997) comparou a resistência mecânica do poliuretano de óleo de mamona associado à malha tubular de poliamida com elastômeros de silicone e uma espuma de borracha sintética, ambos geralmente usados para fabricação de luvas para revestimento de soquetes de próteses infrapatelares. O estudo confirmou o aumento da resistência do poliuretano quando adicionada a malha tubular de poliamida, possuindo maior flexibilidade que o silicone e atestando a possibilidade de uso do material para revestimento de soquetes de próteses infrapatelares.

A aplicação de poliuretano associado com fios de poliéster para implantes de tendões flexores para a mão foi testada por Fonseca (1997). A pesquisa baseou-se na utilização do PU como matriz conjuntiva e dos fios de poliéster como fibras colágenas. Os resultados dos ensaios mecânicos constataram que o PU puro não é adequado para esta aplicação. Porém, a associação pesquisada no trabalho mostrou-se aplicável para implantes em tendões, dependendo diretamente do número de fios de poliéster e da sua forma trançada.

Claro Neto (1997) comprovou a não alteração das propriedades térmicas e a melhora das propriedades mecânicas com a adição de até 40% de

carbonato de cálcio ao poliuretano derivado de óleo de mamona através de ensaios mecânicos e do método DMA (Dynamic Mechanical Analysis).

É crescente a utilização de poliuretano derivado de óleo de mamona em implantes ósseos. Silvestre Filho (2001) analisou as propriedades mecânicas do PU reforçado com fibra de carbono, verificando o efeito da fração volumétrica das fibras nos ensaios, para a fabricação de hastes de implantes de quadril. Os resultados encontrados mostraram um aumento no desempenho mecânico do PU com reforço quando comparado ao sem fibra de carbono, demonstrando ser viável para a aplicação estudada. A partir de sua pesquisa Rezende *et al.* (2001) concluíram a viabilidade de uso temporário de prótese de poliuretano de óleo de mamona em tendões de coelhos. O trabalho constatou que o material permite ser moldado, esterilizado e fabricado sob medida sem demonstrar reações tóxicas e de rejeição por parte dos animais.

Outro aspecto foi observado por Becker (2002) que produziu blendas compostas por polipropileno (PP) e resíduo de poliuretano, fornecido por uma empresa de refrigeradores. As características do acréscimo de polipropileno com enxerto de anidrido maleico para ser utilizado como agente compatibilizante também foi observado. O sistema mostrou-se frágil quando comparado ao PP e ao material sem agente compatibilizante visto que este induziu a adesão interfacial entre as fases. O alongamento diminuiu, o módulo de Young aumentou e a tensão máxima foi próxima a do PP puro. Portanto, é possível utilizar o sistema em aplicações que não necessitem de deformação plástica.

Silva, S. (2003) analisou o desempenho mecânico de chapas de MDF produzidas com poliuretano derivado de óleo de mamona. No projeto foram realizados testes não-destrutivos através de ultra-som e comparou-se os resultados com os dos ensaios destrutivos propostos pela EuroMDFBoard – BEM. Concluiu-se que, através da utilização de uma temperatura de prensagem até 160°C para a confecção de chapas com resina de PU de óleo de mamona, o material apresentou propriedades mecânicas superiores às exigidas pela AMB. Além disso, os ensaios não-destrutivos mostraram resultados semelhantes aos dos destrutivos.

Rosa *et al.* (2003) analisaram um processo de reciclagem mecânica de um resíduo industrial de borracha de vedação automotiva, isto é, de

poliuretanos, acrescentando-o resinas de PU. Várias proporções foram testadas (massa de resina nova: massa de resíduo = 1:4, 1:8, 1:12,5 e 1:20). O sistema 1:20 demonstrou ser viável para aplicações em pisos de academia de ginástica e de atletismo quando observadas as suas propriedades mecânicas de resistência à tração, à abrasão, determinação da dureza e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Silva, R. (2003) pesquisou o processamento e a caracterização de compósitos de poliuretano derivado de óleo de mamona reforçado com fibras de sisal e de coco. Foram realizados ensaios de tração, flexão, impacto, tenacidade à fratura, absorção de água e DTMA, testando as fibras nas formas curta, longa, tecido e fios contínuos. As análises também verificaram o efeito do tratamento alcalino nas fibras. Observaram-se melhores resultados com a fibra de sisal, sendo a fibra de coco inferior ao poliuretano puro. O tratamento alcalino trouxe bons resultados para as fibras curtas e longas, porém piorou os dos tecidos e fios contínuos devido à deterioração dos mesmos. A absorção de água é maior do que a do poliuretano visto que as fibras retêm mais líquido, porém o tratamento reduziu esse índice.

Seguindo a linha de utilização de materiais provenientes de fontes renováveis, a fibra de curauá foi testada por Mothé e Araújo (2004). As fibras foram usadas como reforço para compósitos de poliuretano derivados de óleo de mamona nas proporções de 5, 10 e 20%. Como resultado das análises observou-se que a estabilidade térmica do PU de mamona com fibra de curauá a 20% foi menor que a apresentada pelo poliuretano utilizado comercialmente. Além disso, houve um aumento no módulo de Young e uma diminuição na resistência à tração.

Alves (2005) produziu filmes de blendas de poliuretano derivado de óleo de mamona e poli(o-metoxianilina), derivada da polianilina e confirmou seu potencial para ser utilizado como sensores, especialmente para as que contêm maior quantidade de PU, pois estes oferecem maior estabilidade. Tal potencial foi constatado através da medição da capacitância em diferentes soluções, raios-x e espectroscopia de impedância.

A patente PI 0505282-3A utiliza placas de poliuretano de óleo de mamona com borracha proveniente de pneus inservíveis. Essas placas podem ser empregadas em componentes manufaturados, destacando-se as

aplicações na construção civil, como para revestimento de pisos, absorção de impactos, absorção acústica, entre outras.

Almeida e Ferreira (2006) observaram as propriedades mecânicas e viscoelásticas do poliuretano derivado de óleo de mamona após exposição ao intemperismo artificial, avaliando a possibilidade de uso deste material para revestimento visto que na construção civil os revestimentos poliméricos estão sujeitos às ações da radiação solar e da presença de oxigênio que modificam as suas características.

Melo *et al.* (2007) estudaram as propriedades térmicas do PU de óleo de mamona e comprovou o seu potencial de uso como isolante térmico em coberturas ao comparar os resultados dos ensaios com as propriedades do poliestireno expandido (EPS), material comumente usado para este fim. Essa alternativa é bastante atrativa para a região Nordeste, onde a radiação solar é alta e a latitude é baixa, além de ser um dos maiores produtores de mamona do país.

Narine *et al.* (2006) estudaram espumas de poliuretano derivadas de três óleos vegetais (canola, soja e mamona) e observaram que estas apresentam $159 \pm 2 \text{ kg/m}^3$, $163 \pm 3 \text{ kg/m}^3$ e $158 \pm 1 \text{ kg/m}^3$ de densidade, respectivamente.

Hablott *et al.* (2008) estudaram as características do poliuretano de óleo de mamona com três diferentes diisocianatos (TDI, IPDI e HDI). Observou-se que o módulo de Young e a resistência a quebra por alongamento aumentaram. Assim como, os diisocianatos analisados favoreceram a estabilidade térmica do material.

Como se pode observar, a utilização de óleo de mamona como polioliol na fabricação de poliuretanos vem sendo cada vez mais difundida no Brasil. Seu potencial como material isolante térmico já foi analisado e comprovado, abrindo espaço para mais pesquisas que venham a agregar valor ao produto. Além disso, a possibilidade de reaproveitamento dos compósitos de poliuretano é uma alternativa sem muitos estudos anteriores, com baixos custos inseridos e que traz também como vantagem a facilidade de uso desses resíduos como carga em novos produtos sem a necessidade de limpeza prévia ou a separação de componentes por processos especiais.

4. METODOLOGIA

De acordo com os objetivos propostos pelo presente trabalho adotou-se uma metodologia que permitisse quantificar a eficiência do poliuretano de óleo de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo para fins de isolamento térmica. Para tanto, foram medidas as propriedades térmicas (condutividade – k , difusividade térmica - α e capacidade calorífica – c_p) dos corpos de prova com o intuito de comparar os resultados e determinar quais os melhores materiais para serem empregados na indústria da construção civil. Além disso, foi realizado o ensaio de desempenho térmico do material proposto, nas proporções de 5%, 10% e 15% de resíduo, para análise do comportamento dos mesmos quando expostos à radiação térmica. A fim de adiar a volta do resíduo para o meio ambiente e observar sua reutilização como isolante, foram fabricados corpos de prova utilizando como carga o compósito de PU de mamona com resíduo plástico termofixo moído, analisando suas propriedades térmicas.

4.1. Materiais

Os corpos de prova foram fabricados utilizando-se resina expansiva rígida fornecida pela empresa PROQUINOR, misturando-a com diferentes proporções do resíduo (0%, 5%, 10%, 15% e 20%). O resíduo foi fornecido pela fábrica de botões que os produz.

4.1.1. Preparação dos corpos de prova de PU mamona com resíduo plástico termofixo para a medição das propriedades térmicas

Os corpos de prova foram preparados, misturando-se a resina de poliuretano de óleo de mamona na forma rígida com o resíduo plástico termofixo em várias proporções. O PU de mamona foi utilizado com a

proporção de 1 parte do polioliol para 1,6 parte do pré-polímero. O resíduo foi misturado nas proporções 0% (padrão), 5%, 10%, 15% e 20% e foram fabricados três corpos de prova para cada composição em moldes de garrafa PET de 2 litros.

No caso do corpo de prova padrão, agitou-se o pré-polímero e o polioliol por 2 minutos antes de misturá-los (figura 4.1). Entretanto, nos outros traços, agitou-se o polioliol e o resíduo por 2 minutos (figura 4.2). Em seguida, acrescentou-se o pré-polímero e a mistura foi agitada por mais 2 minutos (figura 4.3 e 4.4).

As medidas dos componentes para cada proporção estão descritas na tabela 4.1, com o intuito de levar em consideração o acréscimo da carga, que provoca o desbalanceamento da reação de polimerização.

Tabela 4.1 – Quantidade dos componentes da mistura

	Polioliol (g)	Pré-polímero (g)	Resíduo (g)	Total (g)
5% de resíduo	26,1	48	3,9	78
10% de resíduo	25,9	56	9,1	91
15% de resíduo	27,45	72	17,55	117
20% de resíduo	26,4	88	28,6	143



Figura 4.1 – Agitação do Polioliol



Figura 4.2 – Mistura Polioliol + Resíduo



Figura 4.3 – Mistura Polioli + Resíduo + Pré-polímero



Figura 4.4 – Expansão na proporção de 20% de resíduo

A mistura com a proporção de 20% de resíduo apresentou-se segregada, não ocorrendo uma boa homogeneização, e com baixa trabalhabilidade.

Após os 15 dias de cura, os corpos de prova não apresentaram nenhum tipo de deformação na sua superfície. Entretanto, os compósitos nas proporções de 15% e 20% de resíduo mostraram-se quebradiços durante o desmolde (figura 4.5).



Figura 4.5 – Corpos de prova PU mamona com resíduo plástico

4.1.2. Preparação dos corpos de prova de PU mamona com compósitos moídos

Inicialmente os corpos de prova anteriormente fabricados para a

determinação das propriedades térmicas foram moídos com um esmeril (figura 4.6). O pó adquirido foi utilizado como carga para a fabricação de novos compósitos, com o intuito de medir suas propriedades térmicas e compará-las com os resultados dos primeiros.



Figura 4.6 – Moagem com esmeril

Para as proporções de resíduo utilizadas anteriormente (5%, 10% e 15%), com exceção da de 20% devido à sua baixa trabalhabilidade e difícil homogeneização, foram fabricados corpos de prova com as mesmas proporções de 5%, 10% e 15% para cada proporção usada inicialmente (figuras 4.7 a 4.9).



Figura 4.7 – Compósito com 5% de resíduo moído

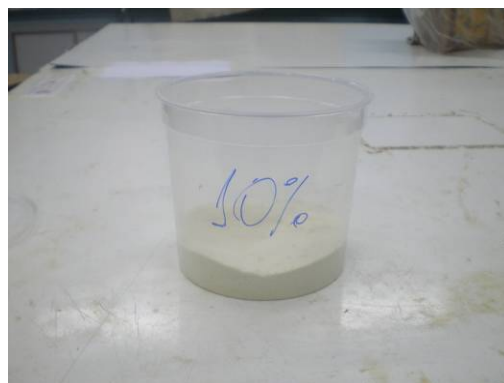


Figura 4.8 – Compósito com 10% de resíduo moído



Figura 4.9 – Compósito com 15% de resíduo moído

Os compósitos foram fabricados utilizando a mesma metodologia dos primeiros corpos de prova. Agitou-se o polioli com a carga por 2 minutos e em seguida adicionou-se o pré-polímero à mistura, agitando-a por mais 2 minutos (figura 4.10).

As medidas utilizadas para cada componente da mistura foram as mesmas descritas na tabela 4.2.



Figura 4.10 – Mistura dos componentes

Após 15 dias de cura, os corpos de prova não mostraram nenhuma deformação em sua superfície (figura 4.11).



Figura 4.11 – Corpos de prova PU mamona com compósitos moídos

4.1.3. Preparação dos corpos de prova para a determinação do desempenho térmico

Para o ensaio de desempenho térmico, foram fabricadas placas de poliuretano de mamona com carga de resíduo plástico termofixo nas proporções de 5%, 10% e 15%, visto que os compósitos com 20% apresentam

baixa trabalhabilidade. Os corpos de prova foram preparados no Laboratório de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN. Foram utilizados moldes de madeira nas dimensões 50cm x 50cm x 5cm (figura 4.12). O poliuretano de mamona foi utilizado na proporção de 1 parte de polioliol para 1,3 parte de pré-polímero.



Figura 4.12 – Moldes

A mistura foi feita da mesma maneira que a utilizada para a determinação das propriedades térmicas (figura 4.13 a 4.15). As quantidades de materiais usados estão especificadas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Quantidade dos componentes da mistura para as placas

	Polioliol (g)	Pré-polímero (g)	Resíduo (g)	Total (g)
5% de resíduo	346	508	45	900
10% de resíduo	301	508	90	900
15% de resíduo	256	508	135	900



Figura 4.13 – Mistura Polioliol + Resíduo



Figura 4.14 – Polioliol + Resíduo + Pré-polímero



Figura 4.15 – Expansão dos corpos de prova

Após a expansão, os corpos de prova foram cortados nas dimensões 21cm x 21cm, tamanho escolhido para a colocação na câmara de teste de desempenho térmico (figura 4.16).



Figura 4.16 – Corpos de prova para ensaio de desempenho térmico

4.2. Métodos

4.2.1. Análise granulométrica

A granulometria do resíduo plástico termofixo utilizado foi observada no Laboratório de Cimento da UFRN com o objetivo de analisar a pulverulência do material trabalhado. Foram utilizadas peneiras com diferentes diâmetros (figura 4.17) e observou-se a quantidade retida em cada uma delas.



Figura 4.17 – Peneiramento

4.2.2. Determinação das propriedades térmicas

As propriedades térmicas (condutividade – k , difusividade – α e capacidade calorífica – C_p) foram medidas através do aparelho Quickline-30 pertencente ao GGEMMA – Grupo de Pesquisa em Geologia Marinha e Monitoramento Ambiental – do Centro de Ciências Exatas da UFRN. Seu princípio de funcionamento baseia-se na observação da temperatura de resposta do material quando o mesmo é submetido a um fluxo de calor pulsante gerado pelo aquecimento de um resistor elétrico presente na sonda que é inserida no material (figura 4.18).

Os materiais analisados precisavam ter no mínimo 6 cm de diâmetro e espessura mínima entre 10 cm e 15 cm. A sonda deve ser inserida no centro da circunferência. As propriedades foram gravadas três vezes para cada corpo de prova em um tempo que variou de 15 a 25 minutos cada uma.



Figura 4.18 – Quickline - 30

4.2.3. Determinação da massa específica

A massa específica foi determinada atendendo as especificações da norma ASTM D1622 – 08. Os corpos de prova utilizados para o teste possuíam as dimensões de 6cm x 4cm x 4cm (figura 4.19).



Figura 4.19 – Corpos de prova para determinação da massa específica

A massa dos compósitos foi medida (figura 4.20) com uma balança digital com 0,01 g de precisão, e a massa específica foi calculada através da seguinte fórmula:

$$\rho = m/V \quad (4.1)$$

Onde:

ρ = massa específica (kg/m³)

m = massa da amostra (kg)

V = volume da amostra (m³)



Figura 4.20 – Medição da massa dos compósitos

4.2.4. Determinação do desempenho térmico

Os testes de desempenho térmico do material proposto foram realizados pela câmara Hekryos fabricada no Laboratório de Transferência de Calor da UFRN.

A Hekryos consiste em dois compartimentos sobrepostos, um com a câmara de alta temperatura (CA_t), cujo isolamento térmico é feito com placas de lã de vidro revestidas com filme aluminizado; e, outro com a câmara de baixa temperatura (CB_t) que é isolada com placas de poliestireno expandido (EPS) e impermeabilizada com filme aluminizado e bandeja de PVC para coleta do material condensado (figura 4.21).



Figura 4.21 – Câmara de desempenho térmico Hekryos

O objetivo do equipamento é simular as condições de uso dos materiais testados quando submetidos à radiação solar incidente nos ambientes, externo e interno, de um edifício.



Figura 4.22 – Controlador de Temperatura Digi-Sense

A câmara de alta temperatura possui nove lâmpadas de 40 watts para simular a radiação solar da cidade de Natal/RN conforme o estudo de Silva, F (2008). A temperatura nesta câmara é regulada pelo Controlador de Temperatura Digi-Sense (figura 4.22), que através de termopares acoplados aos corpos de prova transmite os dados para um computador. A câmara fria possui um sistema de refrigeração por ciclo de compressão de vapor.

Foram testados três corpos de prova de poliuretano de mamona com resíduo plástico termofixo (0,21m x 0,21m x 0,05m) nas proporções de 5%, 10% e 15% de resíduo em massa. As placas foram isoladas com EPS, filme aluminizado e fita adesiva a fim de evitar que o calor escapasse para a câmara de baixa temperatura (figuras 4.23 a 4.26).

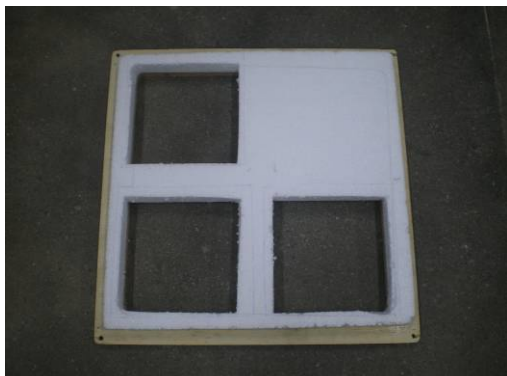


Figura 4.23 – Suporte de EPS e madeira



Figura 4.24 – Placas isoladas com EPS e fita adesiva



Figura 4.25 – Placas isoladas com EPS, filme aluminizado e fita adesiva



Figura 4.26 – Face voltada para a câmara de baixa temperatura

Foram acoplados dois termopares em cada placa, um na face voltada para a câmara de alta temperatura e outro na face voltada para a câmara de baixa temperatura. Além desses, foram colocados dois termopares em cada câmara para medir as temperaturas do ambiente (figuras 4.27 e 4.28).



Figura 4.27 – Termopares na face voltada para a câmara de baixa temperatura



Figura 4.28 – Termopares na face voltada para a câmara de alta temperatura

O experimento foi iniciado e esperou-se 24 horas para que a câmara de baixa temperatura entrasse em um regime de temperatura constante de, aproximadamente, -25°C . Enquanto isso, a câmara de alta temperatura foi mantida em temperatura ambiente através de convecção forçada pelo sistema de insuflamento/exaustão. Em seguida, o sistema da câmara de alta temperatura foi acionado por mais 24 horas a fim de monitorar a transferência de calor através dos corpos de prova. Depois, desligou-se os sistemas das duas câmaras e esperou-se mais 24 horas para que fossem atingidos valores de equilíbrio de temperatura entre elas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como descrito na introdução do presente trabalho, o objetivo da pesquisa é analisar a capacidade de isolamento térmico de um compósito de poliuretano de óleo de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo. Para isso, foram determinadas as propriedades térmicas do material e comparou-se estes resultados com os de isolantes térmicos comerciais, como a lã de vidro, a lã de rocha e o poliuretano petrolífero. Além disso, foram realizados ensaios para a determinação da densidade e do desempenho térmico dos compósitos.

5.1. Análise granulométrica

Os resultados da análise granulométrica do resíduo plástico termofixo utilizado na pesquisa pode ser observado na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Granulometria do resíduo plástico termofixo

DIÂMETRO DA PENEIRA (mm)	Porcentagem (%)	
	Retida	Acumulada
4,8	1,03	1,03
2,4	17,26	18,29
1,2	49,10	67,39
0,6	0,26	67,65
0,3	14,26	81,91
0,15	9,69	91,6
< 0,15	8,13	100

Observa-se que o resíduo é composto por partes maiores, retidas até a peneira de 1,2 mm, e outras bem graúdas, retidas nas peneiras com redes de diâmetros menores, conferindo ao material bastante pulverulência e demonstrando pouca uniformidade das partículas.

5.2. Determinação das propriedades térmicas dos corpos de prova de PU mamona com resíduo plástico termofixo

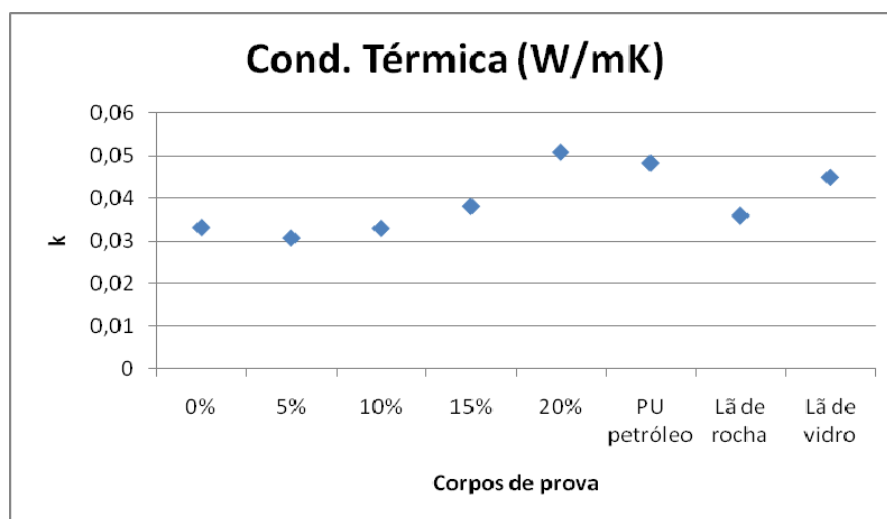
Com os resultados das propriedades térmicas dos compósitos nas proporções de resíduo analisadas neste trabalho, pode-se compará-los com as propriedades dos materiais isolantes encontrados no mercado (tabela 5.2). Todos os resultados analisados no ensaio, assim como a média e o desvio-padrão podem ser observados no Apêndice A.

Tabela 5.2 – Propriedades térmicas dos materiais

Material	Cond. Térmica (W/mK)	Cap. Calorífica E+6(J/m ³ K)	Difusiv. Térmica E-6 (m ² /s)
0%	0,0333	0,0828	0,4019
5%	0,0308	0,0679	0,4550
10%	0,0331	0,0856	0,3873
15%	0,0381	0,1222	0,3120
20%	0,0510	0,192	0,2673
PU petróleo ¹	0,0484	0,079	0,6200
Lã de rocha ¹	0,0360	0,084	0,4800
Lã de vidro ¹	0,0450	0,070	0,6400

Para uma melhor visualização dos resultados foram construídos gráficos para cada propriedade analisada.

Figura 5.1 – Condutividade térmica dos materiais



¹ Borges (2009)

Figura 5.2 – Capacidade calorífica dos materiais

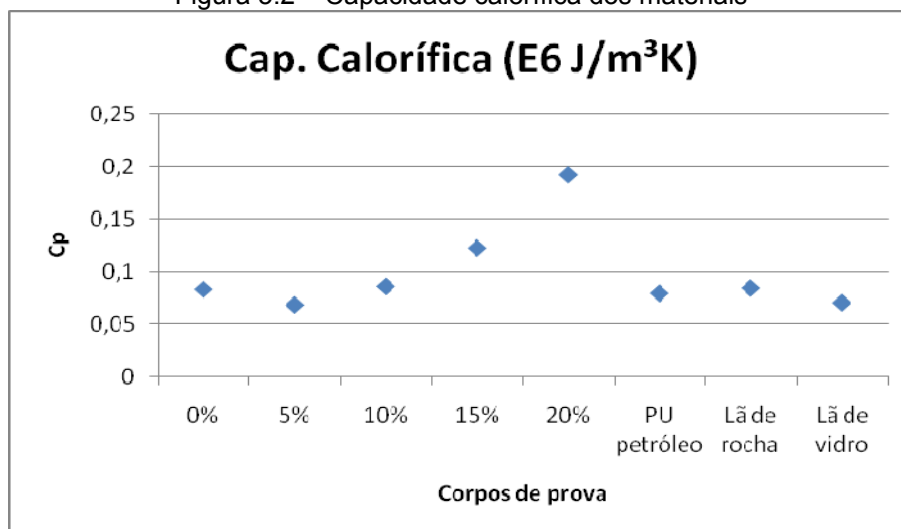
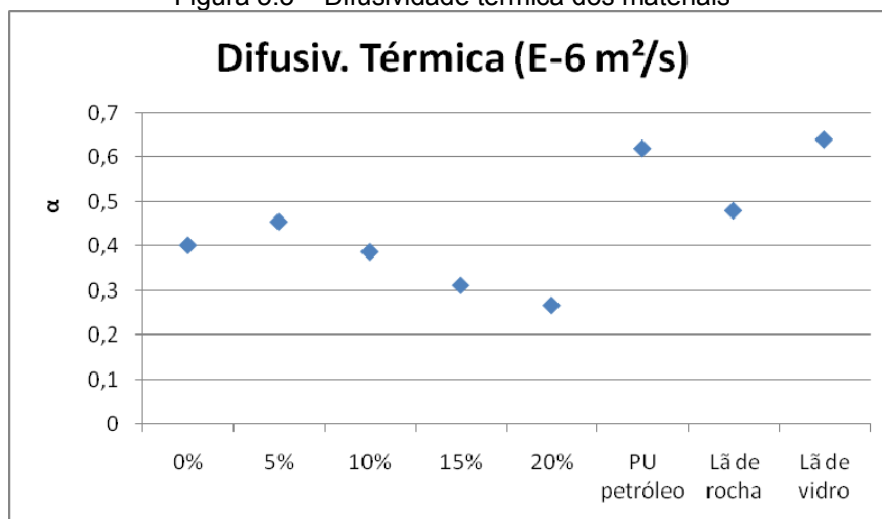


Figura 5.3 – Difusividade térmica dos materiais



Ao analisar os resultados, observa-se que os compósitos de poliuretano de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo nas proporções de 5% e 10% apresentam condutividade térmica menores que a lã de rocha, a lã de vidro e o PU de mamona puro. O material estudado na proporção de 15% só conduz mais calor que a lã de rocha, porém numa diferença muito pequena.

Com relação a capacidade calorífica, o PU mamona misturado com o resíduo pesquisado, principalmente nas proporções de 15% e 20%, proporciona inércia térmica maior que a dos materiais encontrados no mercado para fins de isolamento térmico, demonstrando que precisa ser exposto a mais calor para a temperatura dos ambientes começar a ser alterada.

Quanto à difusividade térmica, os resultados indicam que o PU mamona com resíduo em todas as proporções é melhor que os materiais usados para

fins de isolamento térmico de edificações.

Portanto, conclui-se que o poliuretano de mamona com resíduo plástico termofixo possui propriedades térmicas superiores à lã de vidro, à lã de rocha, ao PU de petróleo e ao PU mamona puro, apresentando características de um bom isolante térmico e podendo ser utilizado nas edificações com o objetivo de alcançar e manter o conforto térmico e reduzir os gastos com energia elétrica.

5.3. Determinação da massa específica

O valor da massa específica dos materiais influencia diretamente na relação entre calor específico e capacidade calorífica. Além disso, materiais com baixa massa específica apresentam também baixa condutividade térmica, característica que define um bom isolante térmico.

A massa e a massa específica dos corpos de prova de poliuretano de mamona com carga de resíduo plástico termofixo estão descritas na tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Massa específica dos corpos de prova

	Massa (kg)	Massa específica (kg/m ³)
5% de resíduo	0,0061	63,54
10% de resíduo	0,0071	73,96
15% de resíduo	0,0100	104,17

De acordo com a norma ASTM D1622-08 a massa específica encontrada para os corpos de prova testados é considerada de média a alta. Porém esta norma refere-se ao estudo do poliuretano de petróleo que possui características diferentes aos poliuretanos de origem vegetal. Segundo Narine *et al.* (2006) o PU de mamona apresenta massa específica de 158 ± 1 kg/m³. Portanto, ao analisar os resultados encontrados do PU mamona com resíduo plástico termofixo, pode-se concluir que o material proposto é bastante leve, o que justifica os resultados encontrados nos ensaios para determinação das propriedades térmicas.

5.4. Determinação das propriedades térmicas dos corpos de prova de PU mamona com compósitos moídos

Os resultados das medições das propriedades térmicas dos corpos de prova de poliuretano de mamona com compósitos moídos como carga estão na tabela 5.4. Todos os resultados, assim como a média e o desvio-padrão, podem ser observados no Apêndice B.

Tabela 5.4 – Propriedades térmicas do PU mamona com carga de compósitos moídos

Corpos de prova	Cond.Térmica (W/mk)	Cap. Calorífica (E6 J/m ³ k)	Difusiv. Térmica (E-6 m ² /s)
5% PU + RES. 5%	0,029	0,060	0,490
10% PU + RES. 5%	0,029	0,062	0,474
15% PU + RES. 5%	0,031	0,068	0,448
5% PU + RES. 10%	0,031	0,068	0,445
10% PU + RES. 10%	0,031	0,068	0,446
15% PU + RES. 10%	0,030	0,066	0,455
5% PU + RES. 15%	0,031	0,070	0,444
10% PU + RES. 15%	0,031	0,071	0,438
15% PU + RES. 15%	0,030	0,066	0,454

Para uma melhor visualização foram construídos gráficos comparando os resultados da tabela 5.3 com os encontrados por Borges (2009) para os produtos encontrados no mercado para fins de isolamento térmico.

Figura 5.4 – Condutividade térmica

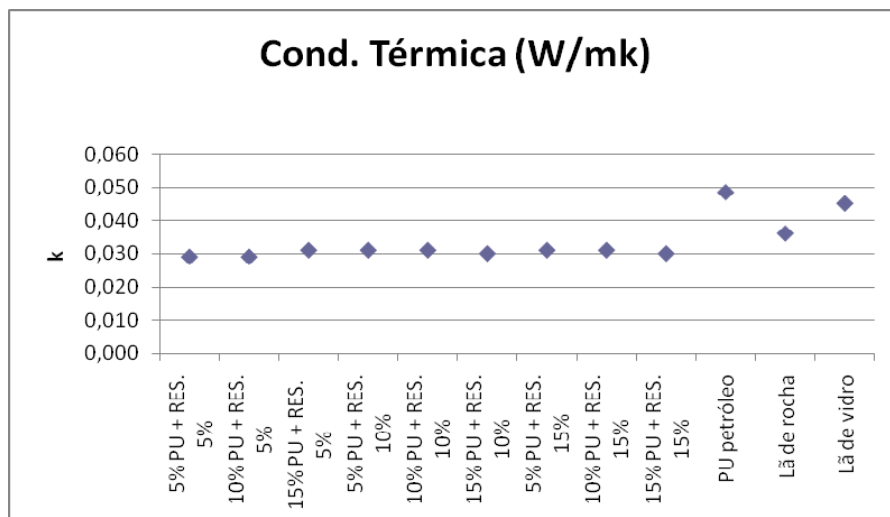


Figura 5.5 – Capacidade calorífica

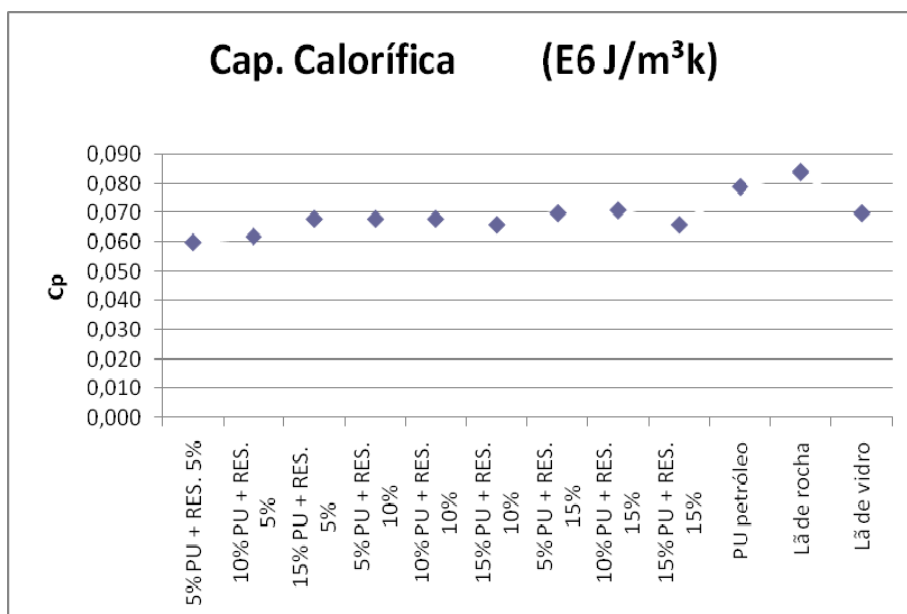
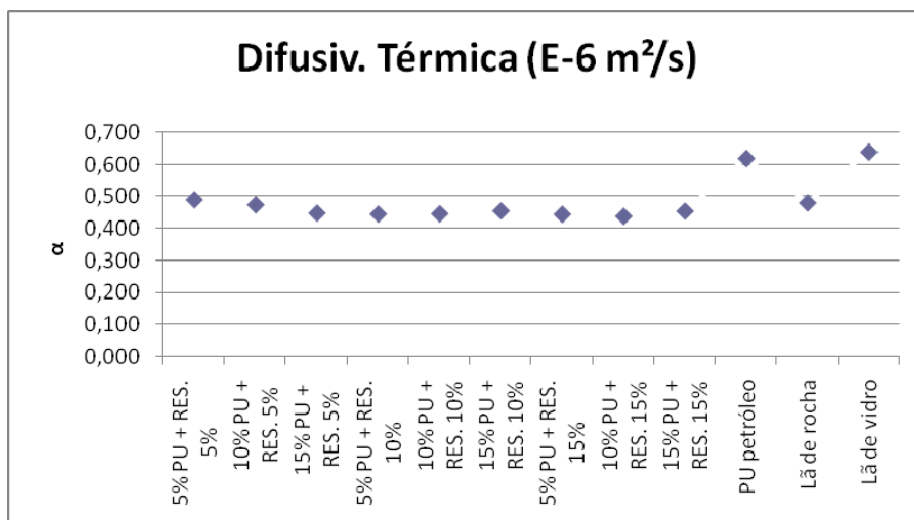


Figura 5.6 – Difusividade térmica



Os corpos de prova fabricados com carga de compósitos moídos conduzem 7% menos calor que todas as concentrações anteriormente testadas e que os isolantes térmicos comercializados atualmente, principalmente quando comparados ao poliuretano de petróleo e à lã de vidro.

A capacidade calorífica destes materiais é menor que os compósitos testados inicialmente, o que significa menor inércia térmica. Porém, os resultados dessa propriedade os igualam à lã de vidro.

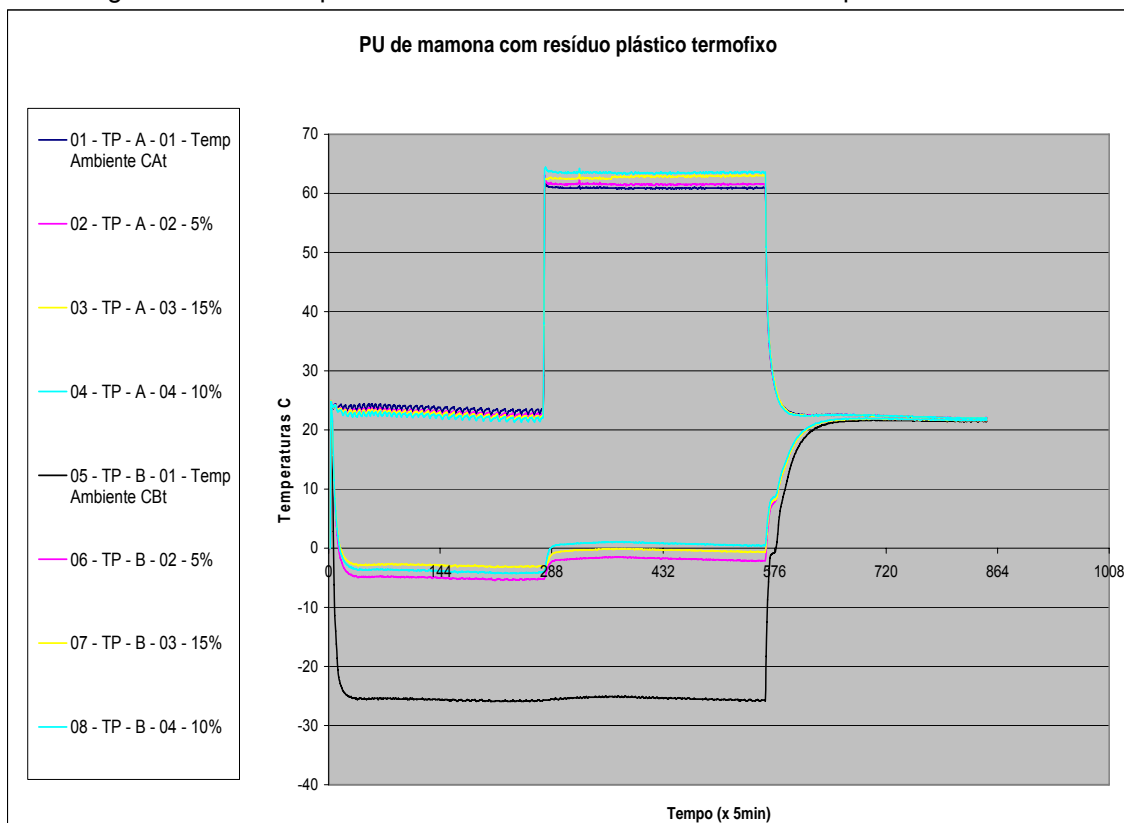
Com relação à difusividade térmica, o poliuretano de mamona com carga de compósitos moídos são melhores que o PU petrolífero, à lã de vidro e à lã de rocha.

Portanto, conclui-se que a reutilização dos corpos de prova como carga para novos compósitos são bons isolantes térmicos, retardando o retorno do resíduo para o meio ambiente.

5.5. Determinação do desempenho térmico

O ensaio de desempenho térmico nos forneceu os resultados mostrados na figura 5.7. As medidas foram marcadas na figura a cada 144 medições, sendo uma gravada a cada 5 minutos.

Figura 5.7 – Desempenho térmico do PU mamona com resíduo plástico termofixo



Pode-se observar que a placa de PU mamona com 5% de resíduo plástico termofixo conduz 3% menos calor que a placa de 10% e 1,5% menos calor que a placa com 15% de resíduo. Este resultado demonstra a superioridade da amostra de 5% quanto à condutividade térmica, como foi observada na determinação das propriedades térmicas. A placa com 10% de resíduo, em contrapartida, conduziu mais calor que as demais. Acredita-se que isto aconteceu devido aos vazios existentes na superfície da placa com proporção de 15% de resíduo, o que ocasionou o aprisionamento do ar no interior destes, aumentando a capacidade de isolamento.

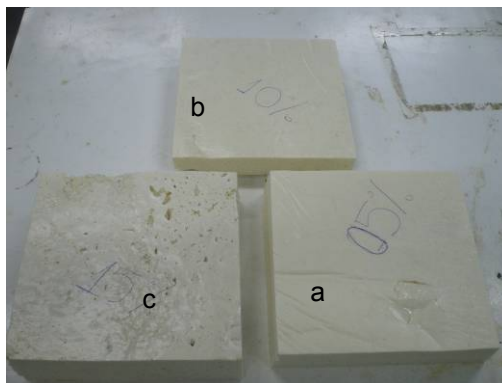


Figura 5.8 – Superfície dos corpos de prova (a) 5% de resíduo; (b)10% de resíduo; (c)15% de resíduo

5.6. Análise de Custos

Visto que o compósito de poliuretano de mamona com carga de resíduo plástico termofixo demonstrou ser um bom isolante térmico, observou-se a necessidade de analisar os custos envolvidos para a aplicação do mesmo. Como o material proposto mostrou-se equivalente aos materiais comercializados, como a lã de vidro, a lã de rocha e o poliuretano de petróleo, foi realizada uma pesquisa de preços de cada um deles para isolar 1m² de cobertura.

Para isso, é necessário 0,9kg de resina de óleo de mamona. Esta custa R\$23,00 o quilo, totalizando R\$20,70. Os demais valores encontram-se na tabela 5.4. É importante lembrar que o custo do material proposto na pesquisa não inclui custos com mão-de-obra e energia, enquanto nos valores dos outros produtos, estas variáveis são consideradas visto que foi adquirido através de uma pesquisa de preços em lojas de Natal/RN.

Tabela 5.5 – Custo dos materiais

Material	Custo (R\$/m ²)
PU mamona com resíduo	20,70
PU petrolífero	31,57
Lã de vidro	31,65
Lã de rocha	31,00

Pode-se observar que a espuma de poliuretano de mamona, além de ter melhores propriedades térmicas, apresenta o menor custo de aquisição, sendo esta mais uma vantagem para utilização do mesmo como isolante térmico.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A fabricação de corpos de prova de poliuretano de óleo de mamona com agregado de resíduo plástico termofixo, em diferentes proporções em massa, e a posterior análise das propriedades térmicas deste material, permitiu constatar a superioridade do compósito estudado quando comparado com os materiais atualmente usados para fins de isolamento térmico de sistemas construtivos, como paredes e coberturas. O desempenho térmico do material proposto mostrou que a proporção de 5% de resíduo conduz menos calor que as proporções de 10% e 15% de resíduo. Porém, o PU mamona com 15% de resíduo é melhor condutor que o com 10% o que pode ser explicado pelos vazios existentes na superfície do poliuretano de mamona com maior quantidade de resíduo, aprisionando o ar e aumentando a capacidade de isolamento do compósito.

É importante lembrar que, além de conduzir menos calor para o interior dos ambientes e oferecer maior inércia térmica que os isolantes térmicos comerciais, como a lã de rocha, a lã de vidro e o poliuretano petrolífero, o PU de mamona com resíduo é um produto que possui forte apelo ambiental, visto que é uma alternativa de reaproveitamento de um resíduo tóxico produzido em grande quantidade por uma empresa que fornece botões para fábricas de todo o mundo. Provou-se também a possibilidade de reutilização do compósito analisado na pesquisa, depois de moído, como carga para novos compósitos, retardando a volta do resíduo para o meio ambiente. Para reforçar o seu diferencial ambiental, a mamona, ao contrário do petróleo, é um material renovável e biodegradável. Soma-se a essas vantagens a capacidade de se moldar em qualquer formato, diferente da lã de rocha e da lã de vidro e a menor custo de aquisição.

Para futuros trabalhos sugere-se considerar a flamabilidade, a

resistência à compressão e ao calor, além do tempo de degradação do PU mamona com resíduo plástico termofixo. Além disso, propõe-se a realização dos testes de desempenho térmico, densidade, flamabilidade e resistência à compressão e ao calor dos compósitos que reutilizam os compósitos de poliuretano de mamona com resíduos moídos como carga para novos compósitos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. E. F. S.; FERREIRA, O. P. Poliuretana derivada de óleos vegetais exposta ao intemperismo artificial. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 252 – 256, 2006.

ALVES, W. F. **Preparação e caracterização de blendas de poliuretano**

derivado do óleo de mamona e poli(o-metoxianilina) e sua avaliação como sensor. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – PPGCEM, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

AMARAL, L. G. T.; GOMES, J. S.; MARINHO, G. S. **Uso de fibra de sisal como isolante térmico de sistemas frios.** III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém-PA, 2004.

ANDRADE, E. T.; COUTO, S. M.; QUEIROZ, D. M de.; PEIXOTO, A. B. Determinação de propriedades térmicas de grãos de milho. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 488-498, 2004a.

ARAÚJO, V. M. D. de. **Estudo da aplicabilidade de índices e zonas de conforto térmico na avaliação de desempenho térmico em edificações em Natal-RN.** In: Simpósio: Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos Alternativos, 2003, Natal/RN. Anais Eletrônicos do Simpósio Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos Alternativos, 2003, p. 1-10.

ASTM – American Society for Testing and Materials, **ASTM D1622** – Standard Test Method for Apparent Density of Rigid Cellular Plastics.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5734: Peneiras para ensaio – Especificação.

_____. NBR 7211: Agregados – Especificação

_____. NBR 7217: Determinação da composição granulométrica dos agregados – Método de ensaio.

BECKER, D. **Blendas PP/PU: Estudo do efeito do agente compatibilizante e reciclagem de resíduo de PU.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema**

construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

BORGES, J. C. S. **Compósito de poliuretano de mamona e vermiculita para isolamento térmico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

BORGES, J. C. S.; BEZERRA, H. A. D.; MARINHO, G. S. **Substitution of PU by biodegradable foam applied to thermal insulation.** 6th Brazilian MRS Meeting, Natal, 2007.

___; OLIVEIRA NETO, M. L., MARINHO, G. S. **Análise de desempenho térmico de poliuretanas aplicadas ao isolamento térmico de coberturas.** II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES, Florianópolis–SC, 2008

CANGEMI, J. M. **Biodegradação de poliuretano derivado de óleo de mamona.** Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CHAGAS, J. A. C. **Projeto e construção de câmaras frigoríficas.** YORK Refrigeration. Joinville, 2007.

CLARO NETO, S. **Caracterizações físico-químicas de um poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado para implantes ósseos.** Tese (Doutorado), Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto e Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997.

COSTA, C. J. M.; *et al.* **Termoacumulador para fluido aquecido.** III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém-PA, 2004^a.

COSTA, J. F.; *et al.* **Utilização de fibra da casca do coco como isolamento térmico de coberturas.** III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém-PA, 2004b.

____. **Isolamento térmico de coberturas com fibra da casca do coco.** Simpósio de Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos Alternativos. Natal-RN, 2003.

CRESPIM, H., *et al.*; Substituição de amianto por silicato de alumínio e grafite expansível em compósito de poliuretano utilizado em motor-foguete. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 3, p. 228 - 233, 2007.

DARÉ, C. A. N.; *et al.* Avaliação da eficiência de isolantes térmicos por reflexão, utilizados como subcoberturas. **Energ. Agric.**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 14 - 29, 2005.

EIRES, R.; JALALI, S.; **Aglomerado compósito de granulado de cortiça materiais não convencionais para uma construção sustentável.** Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2005.

FENILLI, R. J. Sistemas termoisolantes: tipos, finalidades e aplicação. **Climatização & Refrigeração**, n. 94, 2008.

FERREIRA, L. B. M. **Compósito vegetal para isolamento térmico de cobertura.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

FERREIRA NETO, J. *et al.* Avaliação das câmaras frias usadas para o armazenamento de frutas e hortaliças no entreposto terminal de São Paulo (CEAGESP). **Eng. Agríc.**, v. 26, n. 3, p. 832 – 839, 2006.

FREITAS, V. P. **Isolamento térmico de fachadas pelo exterior**. Maxit – Tecnologias de Construção e Renovação. Porto, 2002.

FONSECA, M. C. R. **Ensaio mecânico de tração de uma poliuretana elastomérica derivada do óleo de mamona para uso como implante tendinoso**. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto e Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997.

FORSTER, L. M K.; TANNHAUSER, M.; TANNHAUSER, S. L. Toxicologia do tolueno: aspectos relacionados ao abuso. **Revista Saúde Pública**, n. 2, São Paulo, 1994.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. Studio Nobel. 3 ed. 1999.

GOLDEMBERG, J. Mudanças climáticas e desenvolvimento. **Ambiente e Desenvolvimento – Estudos Avançados**, v. 39, n. 14, p. 77 – 83, 2000.

HABLOT, E. *et al.* Polyurethanes based on castor oil: kinetics, chemical, mechanical and thermal properties. **Macromolecular Materials and Engineering**, n. 293, p. 922 – 929, 2008.

HENRIQUES, F. **Reabilitação Térmica de Edifícios**. ALAMBI, 2007.

INPI. Instituto Nacional de Propriedade Industrial. Osny Pellegrino Ferreira. **Reutilização da borracha proveniente da moagem de pneus inservíveis por meio de sua aglomeração com resina poliuretânica de origem vegetal e seu processo de produção**. BR n. PI 0505282-3A, 16 nov. 2005, 07 ago. 2007.

INPI. Instituto Nacional de Propriedade Industrial. Guilherme Fábio de Melo. **Compósito ecológico constituído de concreto celular espumoso e resíduo**

de polímero plástico. BR n. PI 0604113-2, 27 set. 2006, 13 maio 2008.

____. Osny Pellegrino Ferreira. **Reutilização da borracha proveniente da moagem de pneus inservíveis por meio de sua aglomeração com resina poliuretânica de origem vegetal e seu processo de produção.** BR n. PI 0505282-3, 16 nov. 2005, 07 ago. 2007.

ITO, A. P. **Determinação da condutividade e difusividade térmica de grãos de soja.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

KAWABATA, C. Y. **Desempenho térmico de diferentes tipos de telhado em bezerros individuais.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2003.

KREITH, F. **Princípios da Transmissão de Calor.** 3 ed. Editora Edgar Blücher Ltda. São Paulo, 1977.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico em edificações.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MACEDO, T. T.; BEZERRA, H. D.; MARINHO, G. S. **Resina poliuretânica de óleo da semente de mamona aplicado à isolamento térmica.** II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. Vitória - ES, 2007.

MARROIG, M. C. **Corrosão associada a isolamento térmico de dutos.** II Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, 2003.

MASCARO, J. L.; Mascaró, L. **Uso racional de energia em edificações: isolamento térmico**. São Paulo: Agência para Aplicação de Energia de SP, 1988. v. 1. 51 p.

MEDEIROS, D. S.; *et al.* **Embalagens de EPS pós-consumo utilizadas como isolante térmico de coberturas**. III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém-PA, 2004.

MEDEIROS, O. M. **Uso e destruição de resíduos plásticos termofixo**. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – PPGCEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

MELO, G. F. **Concreto celular polimérico: influência da adição de resíduo de poliéster insaturado termofixo**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

MELO, G. F.; MARINHO, G. S.; BEZERRA, L. A. C. **Roof insulation with Ricinus Communis L. (castor oil) resin foam**. 19th International Congress of Mechanical Engineering, Brasília-DF, 2007.

MICHELS, C. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MILITÃO, A. G.; RAFAELI, E. A. **Neuropatias por intoxicação ocupacional**. Florianópolis, 2000.

MOTHÉ, C. G.; ARAUJO, C. R. Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de curauá. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 4, p. 274 – 278, 2004.

NEIRA, D. S. M. **Fibras de sisal (*Agave sisalana*) como isolante térmico de tubulações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

OLIVEIRA, A. D.; SANTOS, J. C. O. Síntese e Estudo da Estabilidade Térmica e Oxidativa do Biodiesel do Óleo de Mamona. **Química no Brasil**, v. 2, p. 79-84, 2008.

OMORI, M. Sintering, consolidation, reaction and crystal growth by the spark plasma system (SPS). **Materials, Science and engineering A287**, p. 183-188, 2000.

PAPST, A. L.; LAMBERTS, R. **Relacionamento da temperatura interna e externa em edificações residenciais naturalmente ventiladas**. VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro, 2001.

PINHEIRO, A. P. B. Soluções de arquitetura e engenharia para a isolamento térmica. **Climatização & Refrigeração**, n. 94, 2008.

PROQUINOR, Produtos Químicos do Nordeste LTDA. CD Interativo da PROQUINOR, 2007.

REZENDE, C.M.F.; *et al.* Estudo experimental do poliuretano de óleo de mamona (*Ricinus communis*) como substituto parcial do tendão calcâneo Comum em coelhos (*Oryctolagus cuniculus*). **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.53, n.6, p.695-700, 2001.

ROCHA, J. C. JOHN, V. M. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Coletânea Habitare, v. 4, Porto Alegre, 2003.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares**. V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza, 1999.

ROSA, D. S.; GUEDES, C. G. F. Desenvolvimento de processo de reciclagem

de resíduos industriais de poliuretano e caracterização dos produtos obtidos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 64 – 71, 2003.

SANTOS, W. N. dos; GREGÓRIO FILHO, R.; MUMMERY, P.; WALLWORK, A. Método do fio quente na determinação das propriedades térmicas de polímeros. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 5, p. 354-359, 2004.

SCHMIDT, F. W.; HENDERSON, R. E.; WOLGEMUTH, C. H. **Introdução às Ciências Térmicas**. 1 ed. Editora Edgar Blücher Ltda. São Paulo, 1996.

SEVEGNANI, K. B.; GHELFI FILHO, H.; DA SILVA, I. J. O. Comparação de vários materiais de cobertura Através de índices de conforto térmico. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 51, p. 01 - 07, 1994.

SILVA, F. R. **Estudo da radiação ultravioleta na Cidade de Natal-RN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SILVA, L. C. F.; *et al.* **Fibras de coco como indutor de isolamento térmico em tijolos solo-cimento**. III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém-PA, 2004.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVA, S. A. M. **Chapa de média densidade (MDF) fabricada com poliuretana mono-componente derivada de óleo de mamona – caracterização por método destrutivo e por ultra-som**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SILVEIRA, V. G. **Eficiência energética em edificações alemãs**. Monografia

(Graduação em Arquitetura), Universität Karlsruhe, 1999.

SILVESTRE FILHO, G. D. **Comportamento mecânico do poliuretano derivado de óleo de mamona reforçado por fibra de carbono: contribuição para o projeto de hastes de implante de quadril.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 65 – 72, 2005.

TACHIZAWA, T.; ANDRADE, R. O. B. **Gestão Socioambiental: Estratégias na nova era da sustentabilidade.** 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

STANCATO, A. C. **Caracterização de compósitos á base de resíduos vegetais e argamassa de cimento.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

VECCHIA, F. Estudo comparativo do comportamento térmico de quatro sistemas de cobertura. Um estudo experimental para reação frente ao calor. **Construção Metálica**, p. 21 – 24, 2005.

VIANNA, D. L. **Estudo comparativo da resistência mecânica da poliuretana derivada de óleo vegetal submetida a ensaios de tração.** Dissertação (Mestrado), Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto e Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas.** *In*: ENCAC, p. 1277-1284, Curitiba-PR, 2003.

Instituto Nacional da Propriedade Industrial. **Marcas e Patentes.** Disponível em: <http://www.inpi.gov.br>. Acessado em 31 de julho de 2008.

Metálica. **Isolamento Térmico e Acústico – Lã de Vidro e Lã de Rocha.** Disponível em <http://www.metallica.com.br>. Acessado em 15 de outubro de 2008.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br>. Acessado em 09 de junho de 2006.

Mundo Vestibular. **Isopor (Poliestireno Expandido – EPS).** Disponível em <http://www.mundovestibular.com.br>. Acessado em 15 de outubro de 2008.

Programa Ambiental: A última Arca de Noé. **Construção Civil.** Disponível em <http://www.ultimaarcadenoe.com>. Acessado em 09 de junho de 2006.

APÊNDICES

Apêndice A

Propriedades térmicas dos compósitos com adição de resíduo plástico termofixo

Corpos de Prova	Medições	Cond. Térmica (W/mk)	Cap. Calorífica (E6 J/m³k)	Cap. Calorífica (E6 J/m³k)
CP0A	1	0,0319	0,0790	0,4030
	2	0,0333	0,0840	0,3960
	3	0,0338	0,0880	0,3850
CP0B	1	0,0330	0,0810	0,4070
	2	0,0331	0,0810	0,4080
	3	0,0329	0,0800	0,4110
CP0C	1	0,0338	0,0850	0,4000
	2	0,0340	0,0840	0,4030
	3	0,0336	0,0830	0,4040
Média		0,0333	0,0828	0,4019
Desvio - Padrão		0,0006	0,0028	0,0077
CPBON5A	1	0,0307	0,0680	0,4530
	2	0,0310	0,0690	0,4470
	3	0,0310	0,0700	0,4450
CPBON5B	1	0,0306	0,0660	0,4620
	2	0,0307	0,0670	0,4580
	3	0,0308	0,0670	0,4610
CPBON5C	1	0,0305	0,0680	0,4610
	2	0,0308	0,0680	0,4560
	3	0,0309	0,0680	0,4520
Média		0,0308	0,0679	0,4550
Desvio - Padrão		0,0072	0,0180	0,0977
CPBON10A	1	0,0337	0,0910	0,3720
	2	0,0337	0,0900	0,3750
	3	0,0336	0,0860	0,3780
CPBON10B	1	0,0339	0,0920	0,3680
	2	0,0338	0,0910	0,3710
	3	0,0338	0,0910	0,3710
CPBON10C	1	0,0319	0,0770	0,4160
	2	0,0318	0,0760	0,4160

	3	0,0317	0,0760	0,4190
Média		0,0331	0,0856	0,3873
Desvio - Padrão		0,0010	0,0071	0,0224
CPBON15A	1	0,0380	0,1180	0,3230
	2	0,0380	0,1170	0,3250
	3	0,0380	0,1160	0,3260
CPBON15B	1	0,0383	0,1250	0,3050
	2	0,0382	0,1280	0,2970
	3	0,0383	0,1290	0,2960
CPBON15C	1	0,0367	0,1180	0,3110
	2	0,0379	0,1210	0,3130
	3	0,0379	0,1200	0,3150
Média		0,0379	0,1213	0,3123
Desvio - Padrão		0,0005	0,0048	0,0113
CPBON20A	1	0,0520	0,2140	0,2430
	2	0,0519	0,2130	0,2440
	3	0,0519	0,2140	0,2430
CPBON20B	1	0,0513	0,1760	0,2910
	2	0,0513	0,1770	0,2900
	3	0,0511	0,1760	0,2900
CPBON20C	1	0,0496	0,1850	0,2680
	2	0,0501	0,1860	0,2690
	3	0,0500	0,1860	0,2680
Média		0,0510	0,1919	0,2673
Desvio - Padrão		0,0009	0,0168	0,0204

Apêndice B

Propriedades térmicas dos corpos de prova com carga de compósitos moídos.

Corpos de Prova	Medições	Cond. Térmica (W/mk)	Cap. Calorífica (E6 J/m³k)	Difusiv. Térmica (E-6 m²/s)
5% PU + RES. 5%	1	0,029	0,058	0,500
	2	0,029	0,060	0,490
	3	0,030	0,062	0,478
Média		0,029	0,060	0,490
Desvio-Padrão		0,001	0,002	0,011
10% PU + RES. 5%	1	0,029	0,061	0,480
	2	0,029	0,062	0,474
	3	0,030	0,063	0,468
Média		0,029	0,062	0,474
Desvio-Padrão		0,001	0,001	0,006
15% PU + RES. 5%	1	0,031	0,070	0,440
	2	0,030	0,068	0,449
	3	0,031	0,068	0,448
Média		0,031	0,068	0,448
Desvio-Padrão		0,001	0,001	0,005
5% PU + RES. 10%	1	0,031	0,068	0,445
	2	0,031	0,068	0,449
	3	0,031	0,071	0,434
Média		0,031	0,068	0,445
Desvio-Padrão		0,000	0,002	0,008
10% PU + RES. 10%	1	0,030	0,068	0,446
	2	0,031	0,069	0,440
	3	0,303	0,068	0,448
Média		0,031	0,068	0,446
Desvio-Padrão		0,157	0,001	0,004
15% PU + RES. 10%	1	0,030	0,065	0,461
	2	0,030	0,066	0,455
	3	0,030	0,067	0,448
Média		0,030	0,066	0,455
Desvio-Padrão		0,000	0,001	0,007
5% PU + RES.	1	0,031	0,069	0,448

15%	2	0,031	0,070	0,444
	3	0,031	0,072	0,433
Média		0,031	0,070	0,444
Desvio-Padrão		0,000	0,002	0,008
10% PU + RES.	1	0,031	0,071	0,436
	2	0,031	0,071	0,438
15%	3	0,031	0,069	0,447
Média		0,031	0,071	0,438
Desvio-Padrão		0,000	0,001	0,006
15% PU + RES.	1	0,030	0,064	0,471
	2	0,030	0,066	0,454
15%	3	0,030	0,067	0,452
Média		0,030	0,066	0,454
Desvio-Padrão		0,000	0,002	0,010

Apêndice C

Massa dos compósitos de poliuretano de mamona com adição de resíduo plástico termofixo.

Massa dos compósitos

Corpos de Prova	Massa (g)
0%	0,0054
	0,0055
	0,0054
Média	0,0054
Desvio Padrão	0,00006
5%	0,006
	0,0062
	0,0061
Média	0,0061
Desvio Padrão	0,0001
10%	0,0072
	0,0071
	0,0071
Média	0,0071
Desvio Padrão	0,00006
15%	0,01
	0,011
	0,009
Média	0,0100
Desvio Padrão	0,001

Apêndice D

Cálculo da incerteza das propriedades térmicas dos compósitos com carga de resíduo plástico termofixo, para um índice de confiabilidade de 95%.

Condutividade térmica (W/mK)

Grandeza	0%	5%	10%	15%	20%
k _{real} médio	0,0333	0,0308	0,0331	0,0381	0,051
Índice de confiabilidade	95%	95%	95%	95%	95%
Coefficiente de Student	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31
Desvio Padrão	0,0006	0,0072	0,001	0,0005	0,0009

Capacidade calorífica (E6 J/m³K)

Grandeza	0%	5%	10%	15%	20%
C _p médio	0,0828	0,0679	0,0856	0,1222	0,192
Índice de confiabilidade	95%	95%	95%	95%	95%
Coefficiente de Student	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31
Desvio Padrão	0,0028	0,0180	0,0071	0,0048	0,0168
Incerteza	± 0,0022	± 0,0139	± 0,0055	± 0,0037	± 0,0129

Difusividade térmica (E-6 m²/s)

Grandeza	0%	5%	10%	15%	20%
α médio	0,4019	0,4550	0,3873	0,3120	0,2673
Índice de confiabilidade	95%	95%	95%	95%	95%
Coefficiente de Student	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31
Desvio Padrão	0,0077	0,0977	0,0224	0,0113	0,0204
Incerteza	± 0,0059	± 0,0752	± 0,0172	± 0,0087	± 0,0157

Apêndice E

Cálculo da incerteza das propriedades térmicas dos corpos de prova com carga de compósitos moídos, para um índice de confiabilidade de 95%.

Condutividade térmica (W/mK)

Grandeza	5% PU + RES. 5%	10% PU + RES. 5%	15% PU + RES. 5%	5% PU + RES. 10%	10% PU + RES. 10%	15% PU + RES. 10%	5% PU + RES. 15%	10% PU + RES. 15%	15% PU + RES. 15%
kreal médio	0,029	0,029	0,031	0,031	0,031	0,030	0,031	0,031	0,030
Índice de confiabilidade	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Coeficiente de Student	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Desvio Padrão	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Incerteza	$\pm 0,0025$	$\pm 0,0025$	$\pm 0,0025$	0,0000	$\pm 0,0050$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Capacidade calorífica (E6 J/m³K)

Grandeza	5% PU + RES. 5%	10% PU + RES. 5%	15% PU + RES. 5%	5% PU + RES. 10%	10% PU + RES. 10%	15% PU + RES. 10%	5% PU + RES. 15%	10% PU + RES. 15%	15% PU + RES. 15%
Cp médio	0,060	0,062	0,068	0,068	0,068	0,066	0,070	0,071	0,066
Índice de confiabilidade	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Coeficiente de Student	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Desvio Padrão	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002
Incerteza	$\pm 0,0050$	$\pm 0,0025$	$\pm 0,0025$	$\pm 0,0050$	$\pm 0,0025$	$\pm 0,0025$	$\pm 0,0050$	$\pm 0,0025$	$\pm 0,0050$

Difusividade térmica (E-6 m²/s)

Grandeza	5% PU + RES. 5%	10% PU + RES. 5%	15% PU + RES. 5%	5% PU + RES. 10%	10% PU + RES. 10%	15% PU + RES. 10%	5% PU + RES. 15%	10% PU + RES. 15%	15% PU + RES. 15%
α médio	0,49	0,474	0,448	0,445	0,446	0,455	0,444	0,438	0,454
Índice de confiabilidade	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Coeficiente de Student	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Desvio Padrão	0,011	0,006	0,005	0,008	0,007	0,007	0,008	0,006	0,010
Incerteza	$\pm 0,027$	$\pm 0,0148$	$\pm 0,0124$	$\pm 0,0199$	$\pm 0,0174$	$\pm 0,0174$	$\pm 0,0199$	$\pm 0,0148$	$\pm 0,0248$

Apêndice F

Cálculo da incerteza das massas dos compósitos de poliuretano de mamona com adição de resíduo plástico termofixo.

Massa (kg)

Grandeza	5%	10%	15%
Massa média	0,0061	0,0071	0,01
Índice de confiabilidade	95%	95%	95%
Coefficiente de Student	4,3	4,3	4,3
Devio Padrão	0,0001	0,00006	0,001
Incerteza	± 0,0002	± 0,0001	± 0,0025

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)