

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE POLIURETANAS APLICADAS AO ISOLAMENTO TÉRMICO COBERTURAS

Jacques Cousteau da Silva Borges – cousteau@cefetrn.br

Manoel Leonel de Oliveira Neto – leoliveira@cefetrn.br

Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte / Universidade Federal do Rio grande do Norte,
Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

George Santos Marinho – gmarinho@ct.ufrn.br.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica.

5204 - Análise Térmica de Edificações

Resumo. *Este trabalho apresenta resultados experimentais de análises comparativas do desempenho térmico de materiais poliméricos aplicados ao isolamento térmico de coberturas, em comparação aos isolantes comerciais lã de vidro e lã de rocha. Corpos-de-prova foram produzidos e ensaiados para determinação das propriedades térmicas: condutividade (k), difusividade (a) e capacidade calorífica (C). Placas dos materiais analisados foram fabricadas para uso como material de isolamento de uma câmara de testes. Termopares foram distribuídos na superfície da cobertura, no interior dos materiais e no interior da câmara de teste e esta, por sua vez, foi submetida a aquecimento controlado. Os resultados foram comparados com dados obtidos em ensaios idênticos realizados com a câmara isolada com: (a) poliuretano de petróleo (PU); (b) poliuretano de óleo de mamona; lã de vidro (c); lã de rocha. Com base na análise dos resultados foi possível concluir que os materiais poliméricos apresentam comportamentos muito próximos daqueles exibidos pelos materiais de isolamento comerciais..*

Palavras-chave: *Poliuretano de Mamona, isolamento térmico, isolamento de coberturas.*

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos ramos da atividade humana que mais exige recursos e esforços do planeta. Segundo a Agenda 21 para a Construção Sustentável, redigida pela International Council for Research and Innovation in Building and Construction nos países industrializados a construção consome cerca de 50% dos recursos naturais, produz 50% dos resíduos, absorve 40% da energia, e produz cerca de 30% das emissões de CO₂ (HENRIQUES, 2007).

Por isso, “O desenvolvimento de materiais corretos de maneira ecológica e a melhor adequação dos processos tem sido uma necessidade para minimizar os problemas ambientais no Mundo” (ARAUJO, 2004).

É bastante comum encontrarmos materiais sintéticos ou derivados do petróleo sendo utilizados nas obras de construção civil, seja como componente para execução da obra, a exemplo das formas para colunas e coberturas, escoras, cercas plásticas de isolamento e proteção, seja como materiais permanentes, a exemplo das caixas d’água, dos tubos de PVC ou dos isolantes térmicos, sendo este último item o objeto de estudo desse trabalho.

De acordo com Costa et al (2004), os isolantes térmicos de coberturas mais comuns são as fibras sintéticas lã de vidro e a lã de rocha, como também o tecido de amianto (à base de fibra mineral), poliuretano (PUR - à base de poliol) e PVC (Policloreto de Vinila). Ainda de acordo com Costa et al (2004) A principal finalidade dos isolantes térmicos é a de economizar energia através da diminuição do processo de transferência de calor entre dois meios.

Segundo Oliveira, 2003, os primeiros estudos sobre conforto térmico no Brasil, datam de meados de 1930 com os pesquisadores Paulo Sá e Benjamin Alves Ribeiro, que procuram adaptar métodos internacionais, voltados para o clima europeu e norte-americano, à realidade brasileira. Os pesquisadores buscavam estabelecer uma relação entre a sensação individual de conforto térmico e os índices obtidos pelos métodos utilizados na época, principalmente em catatemperaturas e a temperatura efetiva.

Paulo Sá desenvolveu as suas pesquisas na cidade do Rio de Janeiro. Ele buscou um índice de conforto que satisfizesse seus habitantes, a partir da análise das condições climáticas e das sensações térmicas. Foi baseado em seu trabalho que Benjamim Ribeiro iniciou seus estudos em São Paulo, observando que o conforto térmico para os paulistas era bem diferente dos índices obtidos no Rio de Janeiro (Oliveira, 2003).

Ainda segundo Oliveira (2003), o primeiro a analisar o conforto térmico a partir de protótipos com monitoramento de temperatura foi Ole Fanger (1970) que trabalhou com estudantes em sua pesquisa, os “ensaiando” com câmaras climatizadas.

A ASHRE define conforto térmico como sendo “um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve o usuário” (Beaerra, 2003). Na busca pelo conforto térmico em edificações, é cada vez maior a utilização de aparelhos e equipamentos que demandam alto consumo energético. Segundo Lamberts et al. (1997), as edificações são responsáveis por 42% do consumo de energia elétrica, sendo a maior parte devido aos sistemas mecânicos de climatização utilizados para reduzir os efeitos da carga térmica solar. Mascaro *et al* (1988) completa

afirmando que em regiões de baixa latitude, que é o caso do nordeste brasileiro, cerca de 70% da carga térmica em habitações provêm da radiação solar incidente sobre coberturas.

Mediante o exposto, constata-se que a isolamento térmica de cobertura é item essencial para um conforto térmico no interior das habitações. Mas como a maior parte dos isolantes convencionais são de natureza não-renovável, existe uma necessidade eminente da obtenção de materiais biodegradáveis, de natureza renovável que isolem tão bem (ou melhor) que os isolantes convencionais.

Neste trabalho apresentaremos o resultado do desempenho térmico de isolantes de coberturas biodegradáveis, frutos de pesquisas desenvolvidas no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM), do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Os resultados obtidos na presente pesquisa, através da análise de desempenho térmico e das propriedades térmicas dos materiais biodegradáveis os credenciam como uma alternativa para a isolamento térmica de coberturas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Corpos de prova

Para simular o isolamento térmico de coberturas, Foram construídas placas de material isolante e dispostas numa câmara para ensaio de desempenho térmico.

Na confecção das placas a partir da resina, foram utilizadas formas construídas em MDF, com dimensões (0,50m X 0,50m X 0,04m), compatíveis com a da câmara de testes. Dessa forma, cada placa possui um volume total de 10 litros. Após a mistura, o material é colocado no molde forrado por uma superfície plástica Com o objetivo de evitar problemas de aderência do material com o molde Uma tampa é colocada sobre o molde, mantendo-o sob pressão, a fim de manter o formato da placa e evitar perdas de material durante o processo de expansão (Figura 01).

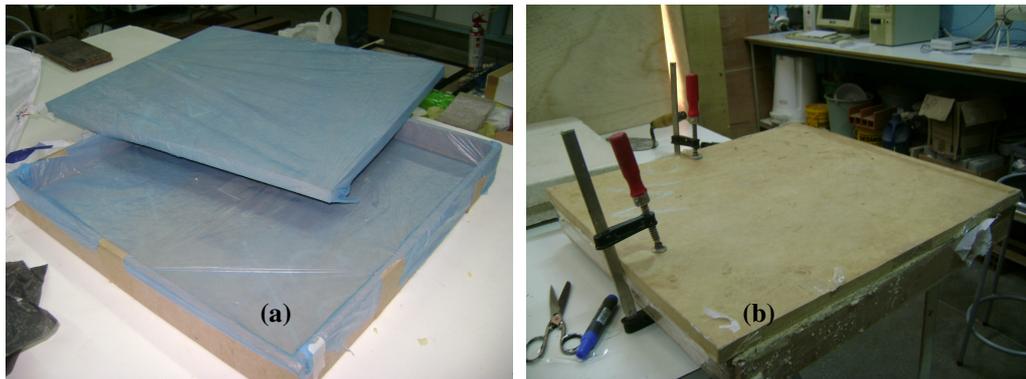


Figura 01. (a) Forma pronta para receber a resina e (b) resina em processo de cura

As placas construídas do composto analisado são constituídas por uma matriz termoplástica de um produto poliuretânico bicomponente, à base de ácido ricinoleico e seus derivados, conhecida também como “resina expansiva de poliuretano de mamona”. Seus constituintes são o pré-polímero (A) e o polioliol (B) (Figura 02).



Figura 02. Componentes da resina expansiva de poliuretano derivado do óleo de mamona

Além da resina expansiva derivada da mamona, também foi utilizada uma resina expansiva derivado do petróleo, o Poliuretano de petróleo, também empregado em isolamento térmico de estruturas e vedação de ambientes. Esse material pode ser encontrado em qualquer loja de equipamentos e utilitários para a construção civil. Foi utilizado o produto comercial (Fischer foam PU 1/500). Foi criada apenas uma placa com o Poliuretano (PU), com o objetivo de medir seu desempenho térmico em comparação ao poliuretano de mamona.

Come se pode observar na Fig (03), para materiais como a lã de rocha e a lã de vidro, não foi necessário confeccionar as placas, uma vez que estas, já são comercializadas com esse formato. Foi necessário apenas recortar os materiais para que estes ficassem com o formato padrão, para serem inseridos nas câmaras de ensaio.



Figura 03. Preparação e placas de Lã de Rocha (verde) e Lã de vidro (Amarela)

2.2. Aparato Experimental

O Aparato experimental descrito a seguir se baseia no utilizado por Medeiros (2004) e Ferreira (2004), pois este experimento já mostrou que pode ser empregado na análise de desempenho térmico de coberturas. Medeiros (2004) analisou o desempenho térmico de coberturas, utilizando como isolante térmico placas construídas a partir de embalagens de EPS pós-consumo, constatou que a placa feita com EPS apresentou melhor desempenho. Ferreira (2004) realizou ensaios semelhantes, ao utilizar um material composto constituído por uma matriz de Látex reforçada com fibras de coco.

Foram construídos dois modelos em madeira de dimensões 0,50 x 0,50 x 0,50 m (simulando um cômodo de uma residência), cujas paredes externas e internas foram revestidas de tinta branca, exceto na base interior que foi pintado de preto fosco.

Como cobertura utilizou-se uma placa de aço com espessura 6,7 mm pintada de preto fosco, com o objetivo de maximizar os efeitos da radiação térmica. Para suportar a placa de aço foi utilizada uma placa de MDF (Medium Density Fiber) com espessura de 4,0 mm

Os modelos instrumentados com termopares foram submetidos a uma fonte de radiação térmica artificial composta de um banco de lâmpadas com potência de 4800 W (24 Lâmpadas incandescente de 200 W cada).

Foram construídos e calibrados no Laboratório de Transferência de Calor do NTI – UFRN, oito termopares tipo T (cobre-constantan) calibre 24 (bitola de 0,51mm) com revestimento em PVC. Tais termopares foram inseridos na câmara de testes em pontos estratégicos, explicados a seguir.

A disposição dos termopares foi a seguinte: um sob a placa de aço, ou seja, logo acima da placa de material isolante; outro abaixo da placa de MDF, que simula o forro de uma residência, permitindo coletar dados de temperatura na parte interna do forro (aquela que está voltada para o ambiente). Um terceiro termopar é colocado no meio da câmara, medindo assim a temperatura no interior. Por fim, tem-se um último termopar na base da câmara, que deve ser a última região a sofrer aquecimento no interior da câmara. Para uma melhor visualização, a Fig. (04) detalha a distribuição dos termopares.

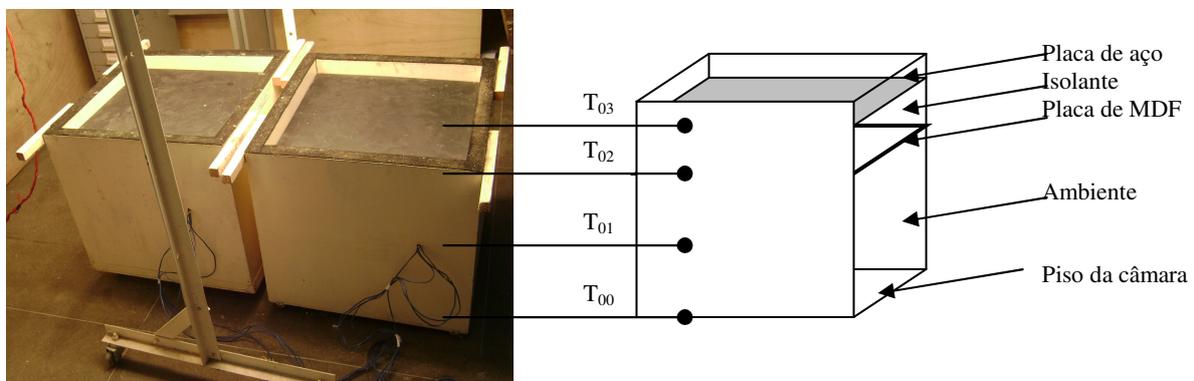


Figura 04. Distribuição dos termopares no interior das câmaras de ensaio

2.3. Medição de propriedades térmicas

Os ensaios para determinação de propriedades térmicas dos materiais (condutividade, difusividade e capacidade calorífica) foram realizados no Laboratório do GGEMMA – Grupo de Pesquisa em Geologia Marinha e Monitoramento Ambiental da UFRN, por meio do equipamento Quick-line 30 (Anter Thermal Properties Corp.), visto na Fig. (05).

Foram confeccionados corpos de prova específicos para a medição dessas propriedades, em formato cilíndrico ($h=18\text{cm}$ $\phi = 8\text{cm}$), onde foi inserida uma sonda em forma de uma agulha. As medições de cada propriedade foram repetidas três vezes.



Figura 05. Quick-line: medidor das propriedades: condutividade, difusividade e capacidade calorífica

2.4. Procedimentos de Medição e Análise

Os termopares, após distribuídos em suas posições, são conectados a uma placa de aquisição de dados, que realiza medições de temperatura em cada ponto de medição. O sistema foi configurado para gravar os valores de temperatura dos oito termopares, tendo em vista que as medições são feitas nas duas câmaras simultaneamente. O intervalo de medições foi ajustado para cinco minutos, durante um tempo de medição de cinco horas (60 intervalos de cinco minutos). Após esse tempo de medição, as câmaras são deixadas em ambiente com ar condicionado, para que todo o sistema esfrie até atingir novamente a temperatura ambiente, e assim recomeçar os testes com mais dois materiais.

Para a análise dos materiais, foram tomados os dados coletados pelo microcomputador, e gerados gráficos comparativos, a fim de analisar a curva de desempenho térmico durante o aquecimento de cada um dos materiais. A partir desses dados podemos afirmar a viabilidade de dados materiais, e apontar quais apresentam um melhor desempenho térmico, quando se fala em isolamento de coberturas.

Ao final da análise dos gráficos, apresentam-se, em uma tabela, os valores das propriedades térmicas medidas, para efeitos de comparação com as curvas de desempenho térmico dos materiais utilizados na pesquisa.

A seguir, são mostrados os resultados do desempenho térmico de cada material, bem como a comparação entre esses materiais. Como descrito anteriormente, cada um foi submetido a uma fonte artificial de radiação térmica sob controle. A Fig (06) mostra o experimento durante a medição, bem como os detalhes que constituem o sistema.



Figura 06. Aparato experimental completo: sistema de aquisição de dados (a), câmaras de ensaio de desempenho térmico de coberturas (b) e fonte de radiação térmica artificial (c).

A partir dos dados obtidos pelo sistema de aquisição de dados, são plotados os gráficos de desempenho dos materiais, mostrados nos tópicos seguintes, onde são apresentados os gráficos em cada um dos pontos de medição: (1) sob a placa de aço (2) sob o forro de MDF, (3) no interior da câmara e (4) sobre a base da câmara.

Por fim, apresenta-se na tabela 1 os valores das propriedades térmicas dos materiais para que se possa comparar as curvas obtida dos gráficos com os valores ali expressos.

3. RESULTADOS

3.1. Curvas de Temperatura

A seguir, nas figuras de número 07 a 10 vemos os gráficos resultantes da medição de temperatura proveniente do sistema de simulação de radiação térmica. Na Fig. 07, é possível observar como a temperatura variou na parte inferior da placa de Aço ao longo dos 300 minutos de medição. O formato de ambas as curvas são semelhantes, porém, é possível perceber que materiais como o poliuretano de petróleo mostraram um aquecimento bem maior, se comparados a materiais como o poliuretano de mamona e os materiais convencionais lã de vidro e lã de rocha.

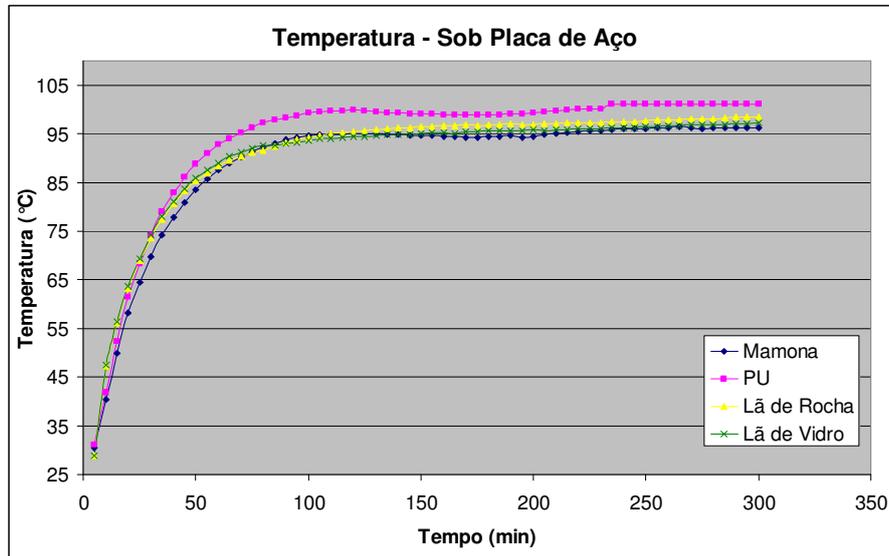


Figura 07. Variação da temperatura sob a placa de aço

O objetivo da placa metálica é absorver o calor e distribuir a carga térmica de forma uniforme pelas placas isolantes. O fluxo de calor, após atravessar o material isolante, chega à placa de MDF de 4mm, que tem a função de simular um forro de um ambiente. Esta placa de MDF conduz o fluxo de calor até o ambiente interno da câmara de testes. No ambiente (que é um cubo fechado) temos um ponto de medição de temperatura logo abaixo da placa de MDF, um ponto no meio do ambiente e outro na parte inferior na base da câmara. A Fig.08 mostra o comportamento térmico para o ponto de medição logo abaixo do forro de MDF. Deste ponto em diante, já é possível perceber o distanciamento entre as curvas.

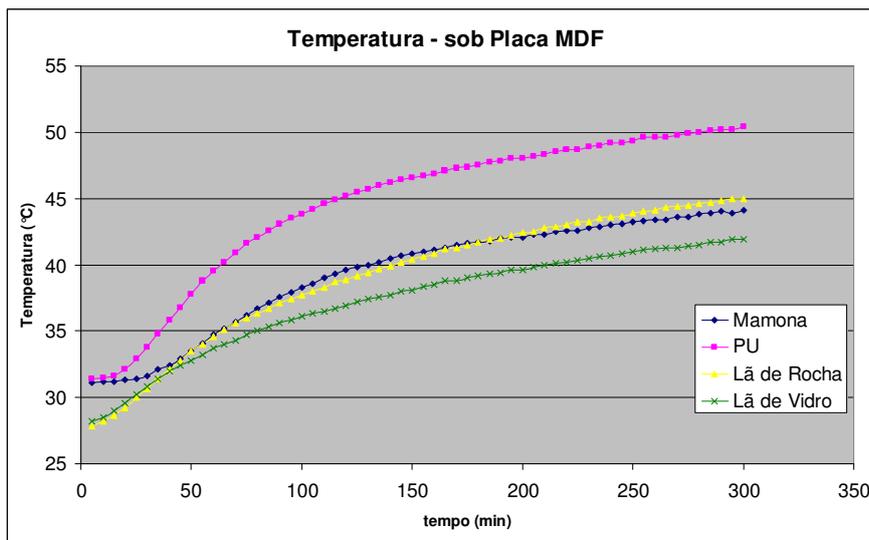


Figura 08. Variação da temperatura abaixo da placa MDF, ou Ponto superior do ambiente

A partir do forro de MDF, o aquecimento passa a ocorrer basicamente por convecção. Como a nossa câmara de testes é fechada, e termicamente isolada a mudança de temperatura observada na Fig. 08 se repete nas Fig. 09 e Fig. 10. Em ambos os gráficos os materiais lã de vidro e lã de Rocha se mostram como ótimos isolantes, comparados ao poliuretano de mamona.

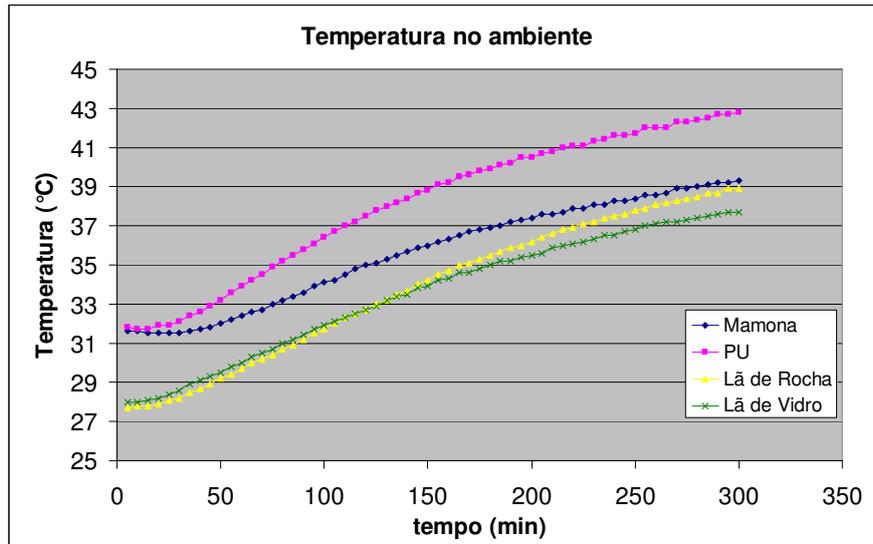


Figura 09. Variação da temperatura no ambiente

Em relação a temperatura na parte inferior da câmara de medição, na Fig. 10, vemos um aumento de temperatura praticamente linear para todos os materiais. A temperatura inicial de medições é diferente para os materiais, pois as medições foram realizadas em diferentes horários do dia, estando o ambiente do local de realização dos ensaios a diferentes temperaturas ambiente no início de cada maratona de cinco horas de medições. Em relação ao desempenho, as placas que melhor isolaram termicamente, repetem aqui os seus resultados, até porque a temperatura neste ponto está diretamente ligada ao desempenho nos pontos anteriores.

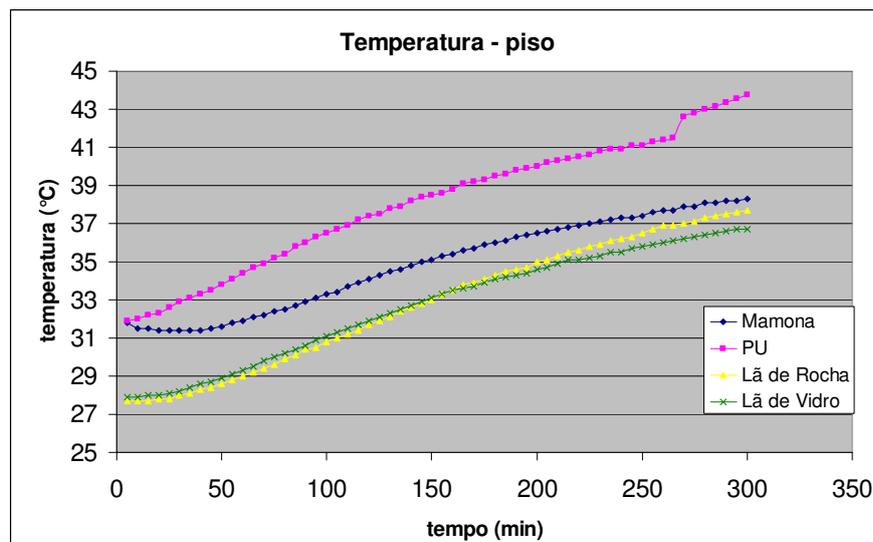


Figura 11. Variação da temperatura sobre o piso do ambiente

3.2. Propriedades Térmicas

As propriedades térmicas dos materiais foram mensuradas utilizando o Quick-line 30, do Laboratório do GGEMMA. Uma sonda em forma de agulha (15cm) foi inserida nos materiais a serem analisados. Após algumas horas de análise o equipamento nos fornece valores de condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico do material analisado. É de se esperar que os materiais que possuem uma condutividade térmica menor sejam melhores isolantes térmicos, por isso é necessário esses testes, para que possamos cruzar os dados dos gráficos mostrados anteriormente com os dados expressos nas Tabela 1.

Lembrando que os corpos de prova foram confeccionados em formatos cilíndricos e não placas. Os moldes para medições das propriedades térmicas não utilizaram tampas, como as placas, por isso os materiais expandiram a pressão constante (pressão atmosférica); ao contrário das placas que expandiram sobre pressão, embora tenha sido calculado a quantidade de resina expansiva necessária para preencher o espaço de 10 litros da placa.

Os valores das propriedades da lã de rocha e da lã de vidro foram obtidos de referências, já que o equipamento utilizado mede a propriedade de espumas e materiais poliméricos e, neste caso temos mantas, o que dificultaria a medição (tabela 1).

Tabela 1. Valores para as propriedades térmicas dos materiais

Material	Condutividade W/m°C	Calor Específico J/m ³ °C	Difusividade m ² /s
Poliuretano (PU)	0,0484	0,079	0,620
Poliuretano Mamoma	0,0406	0,112	0,362
Lã de Rocha ¹	0,0360	0,084	0,480
Lã de Vidro ²	0,0450	0,070	0,640

Como se observa na Tabela 01, os valores das propriedades térmicas da lã de rocha e lã de vidro, se aproximam bastante dos valores do poliuretano de mamona, principalmente os valores da lã de vidro. Observa-se que os valores são em geral bastante próximos um dos outros, por isso que vemos as curvas tão semelhantes, e em alguns casos tão próximas umas das outras. Mas de forma geral, o poliuretano de petróleo apresenta a mais alta condutividade, o que nos ajuda a justificar a posição deste nos pontos mais altos dos gráficos.

4. CONCLUSÕES

Podemos concluir que o poliuretano derivado do óleo da semente de mamona pode ser empregado como isolante térmico de coberturas e de paredes, tubulações, dentre outros. O seu desempenho térmico se mostrou comparável a isolantes térmicos comerciais, empregados em larga escala, como a lã de rocha e a lã de vidro. Em relação a esses dois o poliuretano de mamona se mostrou uma material bastante versátil, já que, diferente das lãs aqui faladas, apresenta boa resistência mecânica, como também impermeabilidade a água, além de poder assumir qualquer formato, já que se trata de uma resina expansiva.

Além do mais, o poliuretano de mamona se mostrou um isolante com um desempenho bem melhor quando comparado ao seu parente não-renovável, o poliuretano de petróleo (PU). Neste ponto, a mamona desempenhou um papel fundamental, pois se torna um substituto biodegradável, de matéria-prima renovável, e com desempenho térmico como isolante bem mais eficiente.

5. AGRADECIMENTOS

Ao pesquisador do LTC Luciano, pelo auxílio na utilização do software e fabricação/calibração de termopares; ao Laboratório do GGEMMA,

6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Carla R de MOTHÉ, Cheila G., Caracterização Térmica e Mecânica de compósitos de poliuretano com Fibras de Curauá, Polímeros: Ciência e Tecnologia. V 14, n. 004, p. 274-278, 2004

BEZERRA, Luciano André Cruz. Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2004

COSTA, Jerusley Ferreira da, *et al.* Utilização de fibra da casca do coco como isolamento térmico de coberturas. *in* Congresso Nacional de Engenharia mecânica, Belém-PA, 2004.

FERREIRA, Lucemaide Batista Miranda. Compósito vegetal para isolamento térmico de cobertura, Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2004

HENRRQUES, Francisco. Reabilitação Térmica de Edícios. ALAMBI, 2007

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

¹ Mendes (2004)

² Ordenes (2003)

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

MEDEIROS, Dorivalda Santos, embalagens de EPS pós-consumo utilizadas como isolante térmico de coberturas, in Congresso Nacional de Engenharia mecânica, Belém-PA, 2004

MENDES, Cristiane Lopes. Estudo teórico sobre perfis formados a frio em situação de incêndio. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

OLIVEIRA, Mariela Cristina Ayres de. OS PRIMEIROS ESTUDOS SOBRE CONFORTO TÉRMICO NO BRASIL: A CONTRIBUIÇÃO DE PAULO SÁ. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

ORDENES, Martí, et al. Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1.UFSC. Florianópolis, Setembro de 2003. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/arquivos/download/visualdoe/BibliotecaFinal.pdf>, acessado em 12 de janeiro de 2008.

ANALYSIS OF PERFORMANCE IN THE HEAT OF ISOLATION POLYURETHANE HEAT ROOF

Abstract. *This presents paper experimental results of comparative analyses of the performance of polymer materials heat applied to thermal insulation of roofs, compared to commercial insulating glass wool and wool, rock. Bodies-of-evidence were produced and tested to determine the thermal properties: conductivity (k), diffusivity (a) and heat capacity (C). Plates of the materials examined were manufactured for use as material for isolation of a Board of tests. Thermocouples were distributed in the area of coverage within the material and within the test chamber and this in turn was subjected to controlled heating. The results were compared with data from similar tests conducted with the isolation chamber with: (a) of oil polyurethane (PU), (b) polyurethane of castor bean oil, glass wool (c) of rock wool. Based on the analysis of results was possible to conclude that the polymer materials have very similar attitudes exhibited by those materials of commercial isolation.*

Key words: Polyurethane of mamona, Insulation, Roofing insulation