

15º Congresso Brasileiro de Polímeros
27 a 31 de outubro de 2019

CRIOGÉIS DE CELULOSE EUCALYPTUS SP E RESÍDUO PARA UTILIZAÇÃO COMO ISOLANTE TÉRMICO

Lídia K. Lazzari^{1*}, Vitória B. Zampieri², Ademir J. Zattera², Ruth M. C. Santana¹

1 – Escola de Engenharias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

lidia_lazzari@yahoo.com.br

2 – Centro de Ciências Exatas e Tecnologias, Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, RS

Resumo: A necessidade de melhorar o comportamento energético dos edifícios resultou inicialmente da necessidade de reduzir a energia consumida pelo aquecimento, ventilação e ar condicionado. Devido a sua estrutura altamente porosa os criogéis de celulose apresentam baixa condutividade térmica, por isso possuem potencial para serem utilizados como isolantes térmicos. Dessa forma, este trabalho busca avaliar as características de isolamento térmico dos criogéis de celulose (CE) e resíduo de celulose (CR). A densidade aparente do CR foi maior que do CE devido a maior concentração de matéria-prima utilizada, e conseqüentemente teve uma menor porosidade. Na morfologia, foi possível perceber a porosidade dos materiais, que apresentaram estruturas com fibras entrelaçadas formando estruturas tridimensionais. O resultado obtido para a condutividade térmica dos criogéis foi de $0,029 \text{ W K}^{-1} \text{ m}^{-1}$, demonstrando que os mesmos possuem bom desempenho como isolantes térmicos, além de sua performance ser muito semelhante à de outros materiais disponíveis no mercado.

Palavras-chave: *criogel, isolante térmico, celulose, eucalyptus.*

EUCALYPTUS SP CELLULOSE AND RESIDUE CRYOGELS FOR USE AS A THERMAL INSULATION

Abstract: The need to improve the energy performance of buildings initially resulted from the need to reduce the energy consumed by heating, ventilation and air conditioning. Due to its highly porous structure the cellulose cryogels have low thermal conductivity, so they have the potential to be used as thermal insulation. In this way, this work tries to evaluate the thermal insulation characteristics of the cellulose (CE) and cellulose waste (CR) cryogels. The apparent density of CR was higher than that of CE due to the higher concentration of raw material used, and consequently had a lower porosity. In the morphology, it was possible to perceive the porosity of the materials, which presented structures with interlaced fibers forming three - dimensional structures. The result obtained for the thermal conductivity of the cryogels was $0.029 \text{ W K}^{-1} \text{ m}^{-1}$, demonstrating that they have good performance as thermal insulators, and their performance is very similar to other materials available in the market.

Keywords: *cryogel, thermal insulation, cellulose, eucalyptus.*

Introdução

A necessidade de reduzir a energia consumida pelo aquecimento, ventilação e ar condicionado em ambientes climatizados de edifícios por meio da proteção térmica, têm sua solução mais simples no uso de materiais isolantes^[1]. Estes materiais apresentam-se como sólidos ou fluídos, de baixa condutividade térmica, ou seja, que dificultam a transferência de calor. Na construção civil, são utilizados para impedir que o calor interno se disperse para o meio externo, dessa forma, materiais sintéticos como o poliuretano (PU) e o poliestireno expandido (EPS) são empregados em ampla escala. A capacidade de isolamento de um material é medida de acordo com a condutividade térmica, ou seja, quanto menor for a condutividade térmica maior será a capacidade

de isolamento. Em engenharia térmica, outras propriedades dos materiais isolantes são importantes, como a massa específica e a capacidade calorífica específica [2].

As categorias de materiais isolantes mais utilizadas são as fibras inorgânicas (lã de vidro e lã de rocha) e espumas orgânicas (poliestireno expandido e poliuretano), enquanto todos os outros materiais cobrem menos de 10%, como por exemplo a lã de madeira. No entanto, o uso desses materiais provoca adversidades como: emissão de gases estufa na produção, liberação de gases tóxicos quando vaporizados e alta inflamabilidade [1]. Assim, é essencial a pesquisa e o desenvolvimento de isolantes mais sustentáveis, como o aerogel de celulose.

Os aerogéis são caracterizados pela sua estrutura altamente porosa, baixa densidade (cerca de 95% do seu volume é ar), baixo teor de sólidos e elevada área superficial. Essas características conferem ao aerogel excelentes propriedades físicas tais como baixa condutividade térmica, por isso possuem potencial para serem utilizados como materiais isolantes [3,4].

A utilização da celulose para a produção de aerogéis torna-se interessante já que a mesma é uma fonte econômica, renovável, biodegradável e abundante no meio ambiente e, pode ser processada em larga escala utilizando métodos bem desenvolvidos pela indústria [5,6]. Dentro deste contexto, o objetivo do trabalho é produzir aerogéis de celulose *Eucalyptus sp.* e resíduo de celulose para determinar suas características térmicas visando seu uso como isolante térmico.

Experimental

Produção dos criogéis

Dois criogéis foram produzidos, o primeiro a partir de uma suspensão de 1,5% (m/m) de fibra curta branqueada da espécie *Eucalyptus sp.* em água destilada, e o segundo a partir de uma suspensão de 3,0% (m/m) de resíduo de celulose doado pela Industria Papelera Uruguaya S.A., ambas obtida por fibrilação mecânica em um micronizador Masuko Sangyo - modelo MKCA6-2J por 5 horas. As suspensões foram acondicionadas em moldes quadrados com 5 cm de lado e congeladas em um ultrafreezer a -80°C durante 24 horas. Em seguida, as amostras foram liofilizadas em liofilizador Lio Top – modelo L101 durante 72 horas para a sublimação do gelo. Os aerogéis foram produzidos em duplicata para uma maior compreensão dos resultados.

Caracterização dos criogéis

A massa específica e a porosidade foram calculadas conforme as Eq. 1 e 2, respectivamente.

$$\rho_{criogel} = \frac{m_c}{v_c} \quad (1)$$

Sendo, $\rho_{criogel}$ é a massa específica do criogel ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), m_c a massa do criogel (g) e v_c o volume do criogel.

$$\text{Porosidade (\%)} = \left(1 - \frac{\rho_{criogel}}{\rho_{celulose}}\right) \times 100 \quad (2)$$

Sendo, $\rho_{criogel}$ é a massa específica do criogel ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) e $\rho_{celulose}$ é a massa específica da celulose ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

A morfologia dos criogéis foi avaliada por microscopia óptica, utilizando um equipamento da marca Shenzhen Inskam Technology Co. Ltd. (China).

A condutividade térmica dos aerogéis foi determinada de acordo com a norma NBR 15220-5 (2003), adotando-se uma configuração assimétrica com um fluxímetro e um corpo de prova. Foram utilizadas amostras com aproximadamente 50 x 50 x 10 mm de largura, comprimento e espessura, respectivamente, num total de 2 amostras por análise. O fluxo de calor aplicado no sistema é determinado através de medições com lã de vidro PSI-20 (densidade $0,020 \text{ g cm}^{-3}$), a qual possui condutividade térmica conhecida ($0,038 \text{ W m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), fornecida pela empresa Tecnotermo Isolantes Térmicos. A condutividade térmica das amostras será determinada através da Eq. 3.

$$q = -kA \frac{\Delta T}{e} \quad (3)$$

Sendo, q o calor transferido (W), k a condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$), A é a área de transferência de calor (m^2), ΔT a diferença de temperatura (K) e e é a espessura do isolante (m).

Resultados e Discussão

A densidade aparente e porosidade dos criogéis são apresentadas na Tab. 1. A densidade e a porosidade são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a densidade menor a porosidade e vice e versa.

Tabela 1 – Caracterizações do criogel de celulose.

Nomenclatura	Matéria prima	Densidade aparente (g cm^{-3})	Porosidade (%)	Condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)
CE	Celulose <i>Eucalyptus sp.</i>	$0,017 \pm 0,001$	$95,6 \pm 0,1$	$0,029 \pm 0,003$
CR	Resíduo de celulose	$0,021 \pm 0,001$	$87,5 \pm 0,5$	$0,027 \pm 0,0003$

O criogel CR apresenta maior densidade aparente que o CE, isto por que a concentração de matéria-prima usada em sua produção é maior, o que faz com que sua porosidade diminua em relação ao CE. Os valores encontrados foram próximos aos encontrados para criogéis de celulose *Pinus elliotti* ($0,016 \text{ g.cm}^{-3}$ e 97%)^[7], aerogéis de celulose *Eucalyptus sp.* ($0,024 \text{ g.cm}^{-3}$ e 97%)^[8], e aerogéis de resíduos de jornal ($0,02 \text{ g.cm}^{-3}$ e 96,8%)^[9].

A Fig. 1 apresenta as fotografias e micrografias dos criogéis produzidos. Nota-se que os aerogéis apresentam estruturas semelhantes caracterizadas por fibras entrelaçadas formando uma estrutura altamente porosa, cerca de 96% (criogel CE) do seu volume é composto de ar. Essa estrutura está diretamente relacionada ao tamanho e distribuição dos cristais de gelo formados durante o congelamento da suspensão de celulose. Além disso, existem regiões com densidade de fibras menores, formando canais abertos macroscópicos e poros micrométricos^[10].

Estudos apresentados na literatura apontam os aerogéis de celulose como excelentes materiais para a sorção de óleos^[11, 12], porém devido a sua elevada porosidade, mostrada anteriormente, esses aerogéis podem ser utilizados como isolantes térmicos^[12,13].

Analisando os dados da Tab. 1, a condutividade térmica mensurada para os dois criogéis foi de aproximadamente $0,029 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, não houve diferença entre as condutividades medidas, isso porque os criogéis apresentam estrutura com elevada porosidade. O valor encontrado demonstrou que o criogel possui bom desempenho como isolante térmico, apresentando um coeficiente de condutividade térmica (k) muito semelhante a isolantes comercialmente utilizados, como o poliestireno expandido ($0,04 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$)^[14] ou o poliuretano ($0,032 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$)^[14].

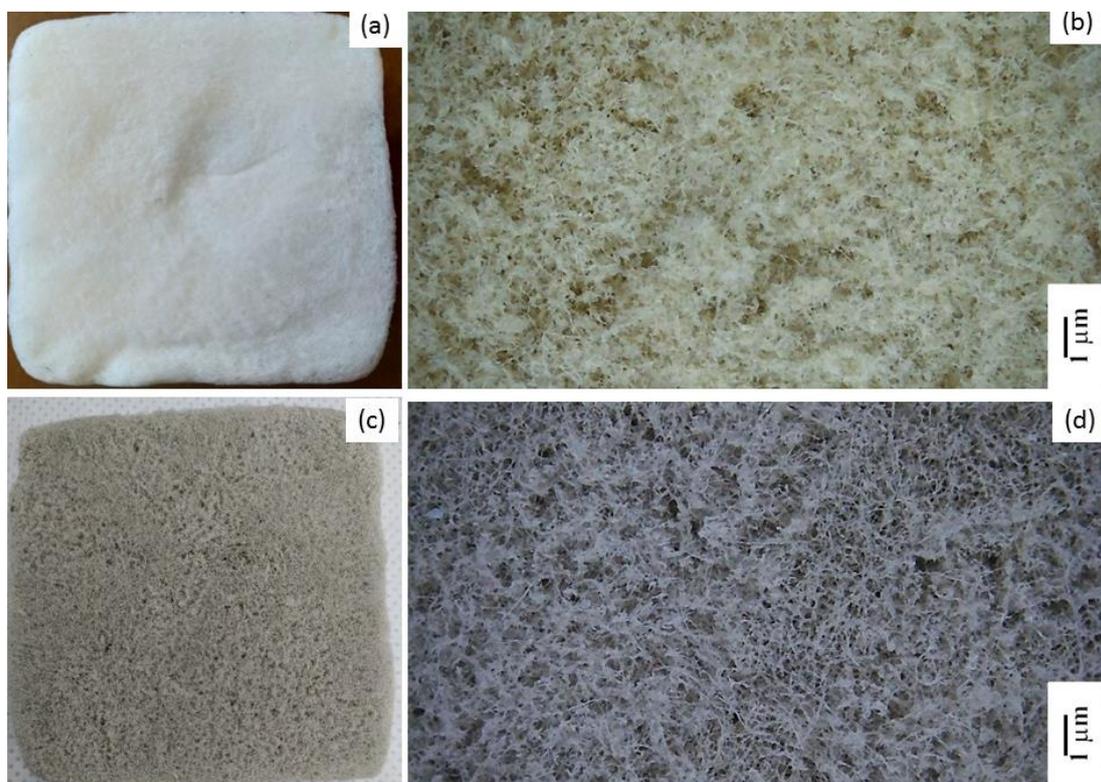


Figura 1 – Imagens da superfície porosa dos criogéis: (a) CE e (c) CR. Micrografias ópticas: (b) CE e (d) CR

Dependendo do tipo de celulose e do processo utilizado, os criogéis podem apresentar diferenças de massa específica, porosidade e condutividade térmica, porém, geralmente os valores encontrados apresentam-se na mesma ordem de grandeza. Tal como, Nguyen et al.^[12] que produziram um aerogel de celulose reciclada (2% em massa), dispersa em hidróxido de sódio e uréia, por sonificação com massa específica de $0,015 \text{ g.cm}^{-3}$ e porosidade de 94,8%, onde obtiveram uma condutividade térmica de $0,032 \text{ W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}$. Karadagli et al.^[13] utilizaram fibras de celulose para produzir aerogéis através da extrusão das mesmas. Os autores avaliaram a influência da concentração de fibras (0,5 a 6% m/m) na massa específica ($0,009$ e $0,137 \text{ g.cm}^{-3}$), porosidade (99 e 91%) e condutividade térmica ($0,04$ e $0,075 \text{ W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}$), concluindo que o aumento da concentração de fibras aumenta a massa específica e a condutividade térmica, e diminui a porosidade.

Conclusões

A demanda por materiais alternativos e mais sustentáveis implica no desenvolvimento de técnicas de produção de materiais inovadoras, sem, no entanto, afetar a qualidade do produto. Neste trabalho foi produzido criogéis de celulose e resíduo de celulose, com o intuito de avaliar a condutividade térmica destes materiais. Com os ensaios realizados, conclui-se que é possível utilizar estes materiais como isolantes térmicos devido suas baixas condutividades térmicas. Pode-se concluir também, que é possível utilizar o resíduo gerado em uma indústria de celulose e papel para este fim.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade de Caxias do Sul (UCS), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referências

- [1] A. M. Papadopoulos; E. Giama *Build Environ.* 2007, 42, 2178.
- [2] Z. S. Spakovsky in *Unified: Thermodynamics and Propulsion*. Sidney: Mathematics Department, Macquarie University, 1993-1999.
- [3] A. Du; B. Zhou; Z. Zhang; J. Sheng *Materials*. 2013, 6, 941.
- [4] N. Husing; U. Schubert *Angew. Chem.-Int. Edit.* 1998, 37, 22.
- [5] A. N. Nakagaiato; H. Kondo; H. Takagi *J. Reinf. Plast. Compos.* 2013, 32, 1547.
- [6] J. T. Korhonen; M. Kettunen; R. H. A. Ras; O. Ikkala *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2011, 3, 1813.
- [7] L. K. Lazzari; V. B. Zampieri; M. Zanini; A. J. Zattera; C. Baldasso. *Cellulose*. 2017, 24, 1.
- [8] M. Zanini; A. Lavoratti; L. K. Lazzari; D. Galiotto; M. Pagnocelli; C. Baldasso; A. J. Zattera. *Cellulose*. 2016, 24.
- [9] C. Jin; S. Han; J. Li; Q. Sun. *Carbohydr. Polym.* 2015, 123, 150.
- [10] M. Paakko; J. Vapaavouri; R. Silvennoinen; H. Kosonen; M. Ankerfors; T. Lindstrom; L. A. Berglund; O. Ikkala. *Soft Matter*. 2008, 4, 2492.
- [11] J. Feng; S. T. Nguyen; Z. Fan; H. M. Duong. *Chem. Eng. J.* 2015, 270, 168.
- [12] S. T. Nguyen; J. Feng; S. K. Ng; J. P. W. Wong; V. B. C. Tan; H. M. Duong. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 2014, 445, 128.
- [13] I. Karadagli, B. Schulz; M. Schestakow; B. Milow; T. Gries; L. Ratke. *J. Supercrit. Fluids*. 2015, 106, 105.
- [14] F. M. F. Silva. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.