

Produção de biomaterial fúngico em resíduos agroindustriais e avaliação de propriedades físicas

Production of fungal biocomposite in residues of agroindustry and evaluation of physical properties

RESUMO

Leandro Inagaki Oshiro
leandro.i.oshiro@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Eduardo Bittencourt Sydney
eduardosydney@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

A promoção da sustentabilidade em toda a cadeia industrial é um desafio em que gera movimentos mundiais de redução e substituição de uso de materiais de origem não renováveis por materiais renováveis. O biocompósito fúngico é produzido utilizando resíduos da agroindústria além de ser biodegradável, visando a substituição de polímeros (plásticos em geral) que são feitos por matéria prima não renovável e/ou não biodegradável. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a propriedades mecânicas e físicas do biocompósito fúngico de acordo com as normas ASTM D 790, ASTM D 695, ASTM D 792, ASTM D 570, UL – 94 e ISO 354:2003. Por inviabilidade de contratação dos serviços para realização dos ensaios para o laboratório do SENAI (São Bernardo do Campo, SP) durante a pandemia do COVID-19, foi realizado um ensaio de condutibilidade térmica do material a ser descrita no presente trabalho. No ensaio, o material teve a condutibilidade térmica de 0,04423 (W/mK), podendo ser considerado um isolante térmico, pois sua condutividade térmica é similar ao poliestireno expandido (isopor) o qual a condutividade térmica varia de 0,029-0,055 (W/mK). Portanto o biomaterial se mostra promissor para a substituição do isopor sendo validado ainda em futuros trabalhos.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, bioeconomia, biocompósito fúngico.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The promotion of sustainability in the all industry chain it's a challenge that generate mundial movements of reduction and substitution of non-renewable materials to renewable materials. The fungal biocomposite is produced using residues from the agro-industry in addition to being biodegradable, aiming to replace polymers (plastics in general) that are made by non-renewable and / or non-biodegradable raw material. The objective of the present work was to evaluate the mechanical and physical properties of the fungal biocomposite according to the norms ASTM D 790, ASTM D 695, ASTM D 792, ASTM D 570, UL – 94 e ISO 354:2003. Due to the inviability of contracting the services to perform the tests for the SENAI laboratory (São Bernardo do Campo, SP) during the COVID-19 pandemic, a thermal conductivity test of the material to be described in the present work was carried out. In the test, the material had a thermal conductivity of 0.04423 (W / mK), and can be considered a thermal insulator, as its thermal conductivity is similar to expanded polystyrene (styrofoam) which thermal conductivity varies from 0.029-0.055 (W / mK). Therefore, the biomaterial is promising for the replacement of styrofoam and is still validated in future works.

KEYWORDS: Sustainability. Bioeconomy. Fungal biocomposite.



INTRODUÇÃO

A promoção da sustentabilidade em toda a cadeia industrial é um desafio em que gera movimentos mundiais de redução e substituição de uso de materiais de origem não renováveis. Principalmente quando a ciência e a pesquisa não apenas em forma de dados, mas mostrando de forma dinâmica e informativa em diversas mídias, os impactos ambientais negativos no uso de materiais de origem fóssil e no descarte incorreto de diversos componentes, os quais consequentemente afetam a qualidade de vida.

Materiais químicos e de nanotecnologia têm-se mostrado eficientes e atrativos, com variadas propriedades e aplicações. A atratividade desses materiais têm sido projeto de pesquisas na biotecnologia para desenvolver novos processos ou materiais que tenham alto desempenho com custos baixos, todavia diversos materiais situados nesse contexto, ainda possuem alta dificuldade no processamento, alto custo em sua produção além de produzirem resíduos agressivos (HANEED, CESERACCIU, *et al.*, 2017, p.1).

Em 2017 o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizou um senso agropecuário sobre a Produção e Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS), que permitiu a atualização de dados sobre esse setor de produção (IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA), 2017, p. 1). De acordo com o senso sobre a PEVS, foi gerada uma renda de R\$19,1 bilhões de reais, dos quais 77,3% são originadas apenas da silvicultura. A área plantada é de 9,8 milhões de hectares, sendo as principais regiões o Sul e Sudeste do Brasil, que representam cerca de 70,5% dessa produção (IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA), 2017, p. 1-3).

Os dados do IBGE mostram que o Brasil produz quantidades significativas de material vegetal que, em seu processamento, geram grandes quantidades de subprodutos, os quais possam ser processados na indústria biotecnológica gerando valor na cadeia agroindustrial e otimizando recursos naturais.

Os fungos são os recicladores de materiais biológicos da natureza, que por meio da produção de enzimas quebram e dissolvem diversos materiais biológicos (NWE, FURUIKE, *et al.*, 2011, p. 189). Eles possuem uma notável velocidade de crescimento, além de possuírem uma bioeficiência de até 80%, isso significa que possuem habilidade de converter um componente em outro com uma perda de apenas 20% ou mais de energia (SWERSEY, BAYER, *et al.*, 2007, p. 2).

As hifas (similar às raízes) do fungo, denominado de micélio, permeia o substrato por meio de pressão física e secreção enzimática, absorvendo nutrientes de fontes de carbono, nitrogênio e outros materiais que são utilizados para a multiplicação celular e que no qual principalmente o carbono é utilizado para a formação da parede celular que é composta principalmente por quitina, glucanos e proteínas (NWE, FURUIKE, *et al.*, 2011, p.189), (HANEED, CESERACCIU, *et al.*, 2017, p. 2).

O crescimento miceliar dos fungos entorno das partículas do substrato, somado à sua estrutura celular faz com que forme um material sólido, em que é designado como biocompósito de micélio, o qual é a soma de duas matérias orgânicas, sendo uma vegetal e biomassa de fungo, como mostra a figura 1.

Figura 1. Biocompósito formado pelo fungo e matéria vegetal.



Fonte: Autoria própria.

No presente trabalho o estudo, a utilização e as propriedades mecânicas de materiais formados a partir de crescimento micelial fúngico em matrizes compostas por resíduos da agroindústria, promovendo a valorização de um material que é geralmente descartado ou subutilizado, além de utilizar como forte apelo à sustentabilidade, a economia circular e promover a bioeconomia como chaves para o desenvolvimento da pesquisa em questão.

METODOLOGIA

A metodologia aqui apresentada não traz todos os detalhes do processo da produção do biocompósito, tendo em vista que o processo de fabricação do mesmo em questão está passível de patenteamento.

A produção do biocompósito se dá pela escolha de substrato (palha, casca de arroz, trigo, milho, etc). Esta base será o meio em que o fungo irá se adaptar crescer. Juntamente com o substrato são adicionados água até uma umidade ideal, nutrientes adicionais e a lignina para complementação do meio e maximização das características de crescimento.

São utilizados sacos de polipropileno fechados com esponjas de poliuretano em sua entrada, para possibilitar as trocas gasosas do meio de crescimento com o ambiente externo. Os meios são esterilizados em autoclave (121°C por 15 minutos).

Em ambiente controlado, os meios esterilizados podem então ser inoculados com *spawn* (pedaço retirado de um substrato com o micélio já crescido) do fungo escolhido. Estes então são alocados em local com temperatura controlada entre 7 a 10 dias

Cálculo de condutividade térmica

O método a ser utilizado para o cálculo de condutividade térmica do material é uma mescla de dois métodos amplamente utilizados: “Método da Capacitância Global” (MCG) e determinação de transferência de calor por convecção proposto por (INCROPERA, 2008).

O MCG segundo (INCROPERA, 2008) é medido em regime transiente e não estacionário, o que significa que condições de contorno mudam conforme o tempo até que as temperaturas medidas em pontos específicos sejam constantes. Esse método se baseia em um parâmetro adimensional entre a queda de temperatura

do sólido em relação à diferença de temperatura entre a superfície e o fluido representada pela equação 1.

Para a determinação do coeficiente de convecção natural, é preciso de parâmetros tabelados relacionados ao fluido em que o objeto está situado (número de Prandtl, velocidade cinemática do ar, condutividade térmica do ar), esses parâmetros são baseados na média da temperatura da superfície do objeto e da temperatura do fluido. No experimento foi trabalhado com a hipótese de que o fluido estava em escoamento laminar, em regime permanente, o biocompósito tinha geometria bidimensional, além de ter propriedades físicas constantes.

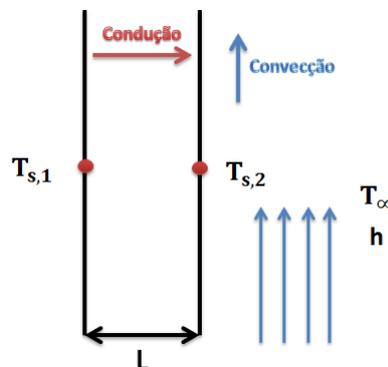
Sendo assim, as seguintes equações foram utilizadas e manipuladas para possibilitar o cálculo da condutividade térmica do material por meio de duas equações e duas incógnitas obtidas na literatura, com parâmetros medidos feitos por materiais de fácil obtenção.

A equação utilizada para o MCG é:

$$\frac{(T_{s,1} - T_{s,2})}{(T_{s,2} - T_{\infty})} = \frac{h \cdot L}{k} \quad (1)$$

A figura 2 é uma imagem representativa da dinâmica do processo:

Figura 2. Dinâmica do processo



Fonte: Autoria própria.

Para convecção natural, para se calcular o coeficiente de convecção média do ar, para a qual utilizou-se a seguinte fórmula:

$$h = \frac{Nu \cdot k_{ar}}{L'} \quad (2)$$

Sem a velocidade do fluido, não é possível utilizar o número de Reynolds para calcular o número de Nusselt. Então, utilizou-se o número de Rayleigh, determinado pelas seguintes equações:

$$T_{película} = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \quad (3)$$

Com a temperatura de película medida, pode-se achar as propriedades específicas do ar na pressão atmosférica e medir:

$$\beta = \frac{1}{T_{película}} \quad (4)$$

Sendo que:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\alpha \cdot \nu} \quad (5)$$

Sendo assim torna-se possível calcular o Nusselt através da seguinte forma:

$$Nu = 0,68 + \frac{0,670 \cdot Ra^{\frac{1}{4}}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{\frac{4}{9}}]^{\frac{1}{4}}} \quad (6)$$

Essa sequência de cálculo é possível caso o regime seja laminar, ou seja $10^4 \leq Ra \leq 10^9$.

Seguindo esse passo a passo, é possibilitado calcular o coeficiente de convecção médio do ar, e assim, podendo substituir na equação (1) que por manipulação algébrica:

$$k = \frac{h \cdot L}{(T_{s,1} - T_{s,2})} \quad (7)$$

Legenda dos símbolos utilizados:

- g: Gravidade;
- L: Largura do biocompósito (diâmetro da superfície);
- L': Comprimento característico do biocompósito;
- $T_{s,1}$: Temperatura de superfície em contato com a chapa;
- $T_{s,2}$: Temperatura de superfície em contato com o ar;
- T_∞ : Temperatura do ar (ambiente onde se está fazendo o experimento);
- $T_{Película}$: Temperatura de película;
- Pr: Número de Prandtl;
- ν : Velocidade cinemática do ar;
- k_{ar} : condutividade térmica do ar;
- Ra: Número de Rayleigh;
- Nu: Nusselt médio;
- h: Coeficiente de convecção do ar;
- k: Condutividade térmica do biocompósito.

Nessa metodologia foi utilizado um termopar agulha de precisão de 0,1°C, uma chapa de aquecimento vertical com controle de temperatura e o biocompósito a ser analisado.

O processo seguiu os seguintes passos; 1- Medir as dimensões do biocompósito, 2- Colocar o biocompósito em contato com a chapa de aquecimento, 3- Posiciona-los verticalmente, 4- Ligar a chapa de aquecimento abaixo da temperatura de 175°C, 5- Medir repetidamente as temperaturas do ambiente, temperatura em diversos pontos fixos da superfície do biocompósito e a temperatura de contato da chapa e do biocompósito a cada três minutos até que as temperaturas se tornem constantes e 6- Anotar as temperaturas medidas.

Nesse processo deve-se tomar cuidado para não ter nenhum tipo de circulação de ar no ambiente em que realizará o experimento.

Com os dados obtidos, encontram-se outros parâmetros relacionados ao ar nas tabelas do (INCROPERA, 2008) no apêndice 'A', Tabela A.4 e realizando interpolações de valores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo os processos de medições e passo a passo discutido anteriormente foram obtidos os seguintes dados (SI):

- g : 9,81 (m/s^2); L : 0,012 (m); L' : 0,08 (m); $T_{s,1}$: 438,4 (K); $T_{s,2}$: 308,4 (K); T_{∞} : 291,6 (K); $T_{\text{Película}}$: 300,0 (K); Pr : 0,707; ν : $15,89 \times 10^{-6}$ (m^2/s); α : $22,5 \times 10^{-6}$ (m^2/s); k_{ar} : $26,3 \times 10^{-3}$ (W/mK); Ra : $7,86 \times 10^8$; Nu : 86,74; h : 28,52 (W/m²K); k : 0,04423 (W/mK).

Com a condutividade obtida para o material, de acordo com as tabelas feitas por (MUTHURAJ, JIMENEZ-SAELICES, *et al.*, 2018, p. 267), infere-se que o biocompósito pode ser considerado um isolante térmico, pois sua condutividade térmica é similar ao poliestireno expandido (isopor) o qual a condutividade térmica varia de 0,029-0,055 (W/mK).

CONCLUSÕES

Levando em consideração os resultados obtidos com a experimentação envolvendo relações de resistividade térmica, pode-se verificar que o biocompósito proposto tem potencial como um futuro substituinte do tão conhecido Isopor (marca registrada) – poliestireno expandido. O biocompósito aqui proposto pode receber outros tratamentos os quais ainda serão objetos de estudos futuros que o permita melhorar diversas características como isolante térmico. A validação de substituição do mesmo pelo o isopor não foi completa, pela falta de dados de ensaios mecânicos e físicos do biocompósito, mas pelo dado obtido já se abre várias possibilidades de trabalho com esse material, sendo validado em futuros estudos

REFERÊNCIAS

- HANEEF, M., CESERACCIU, L., CANALE, C., *et al.* "Advanced Materials from Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties", **Scientific Reports**, v. 7, n. December 2016, p. 1–11, 2017. DOI: 10.1038/srep41292. .
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2017**. Rio de Janeiro, [s.n.], 2017. v. 32. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/15f538e9095614fc3204f828b22fa714.pdf.
- INCROPERA, F. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6ª ed. Rio de Janeiro, Editora LTC, 2008.
- MUTHURAJ, R., JIMENEZ-SAELICES, C., GROHENS, Y., *et al.*, "Applications of Polysaccharide and Protein Based Aerogels in Thermal Insulation". **RSC Green Chemistry**, Lorient, Institut de Recherche Dupuy de Lome (IRD)-CNRS UMR 6027, 2018. p. 261–294. DOI: 10.1039/9781782629979-00261.
- NWE, N., FURUIKE, T., TAMURA, H. "Production, Properties and Applications of Fungal Cell Wall Polysaccharides: Chitosan and Glucan", **Advanced Computer Simulation Approaches For Soft Matter Sciences I**, n. September 2016, p. 188–203, 2011. DOI: 10.1007/12. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/arq/v74_4/abreu.pdf.
- SWERSEY, B. L., BAYER, E., MCLNTYRE, G. **Método para produção de materiais de crescimento e produtos constituídos através do mesmo**. . Brasil, [s.n.], 2007