MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, REOLOGIA E IMPRESSÃO 3D

Júlia Michel, Taienne Winni Paiz Ecker, Adilson Schackow, Carmeane Effting

INTRODUÇÃO

As edificações são responsáveis por 50,8% do consumo de energia elétrica no Brasil (Empresa de Pesquisa Energética, 2023). Esse dado mostra que o conforto térmico nas edificações responde por uma fatia expressiva do consumo energético nacional, impulsionado sobretudo pelo uso de ar-condicionado em razão do clima predominantemente quente e úmido do país (Santos, T. L.; Porto, F. H. F. S.; Silva, A. S., 2020). A envoltória das edificações (como paredes e coberturas) é determinante no desempenho térmico e no consumo de energia. Por isso, investir em tecnologias para aprimorar esse elemento é fundamental para melhorar o conforto interno e reduzir o uso de energia elétrica para resfriamento (Ioannou, A.; Itard, L. C M., 2015; Mirrahimi et al., 2016).

Uma dessas tecnologias é o material de mudança de fase (PCM – Phase Change Material), cuja aplicação em envoltórias de edificações tem demonstrado resultados expressivos em países de clima temperado. O PCM, quando aplicado nas camadas da envoltória, contribui para o aumento da inércia térmica das edificações, reduzindo as flutuações de temperatura no ambiente interno (Lei, Y.Y., 2016; Rathore, P. K. S.; SHUKLA, S. K., 2020; Saxena, R.; Rakshit, D.; Kaushik, S. C., 2018; Socaciu et al., 2014). Eles podem ser categorizados em PCMs orgânicos e inorgânicos. Entre estes, os PCMs de base biológica — PCMs orgânicos originados de óleos vegetais e gorduras animais — possuem inúmeras vantagens, incluindo alta densidade de armazenamento de energia, grau de super resfriamento pequeno ou insignificante, estabilidade química desejável e ecoeficiência (Sharma et al., 2009).

O óleo de coco (CO) é um PCM de base biológica natural e renovável com uma faixa ideal de temperatura de mudança de fase e alto valor de calor latente (Alqahtani et al., 2020). Dessa forma, essa pesquisa tem como objetivo investigar as propriedades do óleo de coco por meio do ensaio *T-History*, para aplicação como material de mudança de fase (PCM) de uma argamassa de revestimento.

DESENVOLVIMENTO

Inicialmente realizou-se o estudo das propriedades do óleo de coco como material de mudança de fase (PCM), para posteriormente estudar sua aplicação na argamassa de revestimento. Os PCMs armazenam ou liberam energia na forma de calor latente durante a mudança de fase e podem ser utilizados para auxiliar no controle das condições térmicas ambientais dentro de uma faixa específica de temperatura (Kalnaes, J., 2015).

Quando a temperatura do PCM atinge o ponto de fusão, as ligações químicas no material começam a se romper e há absorção de energia em um processo endotérmico. Nesse processo, geralmente há a mudança do estado físico do PCM de sólido para o líquido. À medida que a temperatura do ar próxima ao PCM cai, o material libera a energia armazenada e retorna ao estado sólido original. Esse efeito pode reduzir as cargas de pico e o consumo energético com arrefecimento e aquecimento (Kalnaes, J., 2015; Rathore, P. K. S.; Shukla, S. K., 2020).

Portanto para determinar o potencial do óleo de coco como material de mudança de fase (PCM), avaliaram-se as estimativas dos seguintes fatores: a temperatura de fusão, temperatura de solidificação, o intervalo de resfriamento, calor latente e as condições climáticas da cidade de aplicação (Joinville).

Uma bancada experimental foi construída para o ensaio *T-History*. Três amostras de óleo de coco e uma de água destilada são contidas em quatro tubos de vidro de diâmetro interno 16 mm e altura 115 mm (amostra). Uma termosonda (Termopar tipo K) é posicionada ao longo do eixo de cada

tubo, a aquisição de dados é realizada com um sistema data-logger conectado a um computador. Sensores digitais DS18B20 de 6 mm de diâmetro e 6 cm de comprimento são utilizados para registrar as temperaturas dos ambientes durante os ensaios e transmiti-las através de uma placa de arduíno.

Primeiramente, os tubos de ensaio são posicionados suspensos em um banho termostático a 47°C para obtenção dos pontos de fusão. Os tubos permanecem por 30 minutos, após estabilização da temperatura, no banho termostático. Em seguida, as amostras são deslocadas para uma caixa de isopor com gelo a 6°C, onde permanecem por 30 minutos após estabilização da temperatura, para obtenção do ponto de solidificação. Esse processo repete-se duas vezes para melhor aferição dos resultados. A temperatura ambiente durante os ensaios estava, em média, 25°C. De acordo com Spark (2026), a temperatura média anual da cidade de Joinville é de 21,5°C.

O método *T-History* foi escolhido nessa pesquisa por apresentar um sistema experimental simples, ser capaz de medir várias amostras e obter diversas propriedades termofísicas de cada amostra de PCM através de um grupo de testes; a precisão da medição atende às necessidades de aplicações de engenharia e o processo de mudança de fase de cada amostra de PCM pode ser observado claramente (Yinping, Z; Yi, J; Yi, J., 1999).

RESULTADOS

Com a realização do ensaio *T-History*, obteve-se uma série de dados de variação de temperatura ao decorrer do tempo e da condição em que os tubos de ensaio estavam inseridos. A partir desses dados, construíram-se gráficos para análise do ponto de fusão e solidificação do óleo de coco. O gráfico para análise da estimativa do ponto de fusão da amostra, indicou uma temperatura de fusão aproximada de 25°C. O gráfico para análise da estimativa do ponto de solidificação, indicou o fenômeno de super resfriamento na amostra, resultando em uma variação de 4°C na temperatura de resfriamento e uma temperatura de solidificação de aproximadamente 20°C. Através dos gráficos, também podemos observar que a estimativa de início do período de calor latente do material é em torno dos 16°C e finaliza em torno dos 21°C.

No ensaio *T-History*, espera-se uma estimativa de temperatura de fusão maior do que de solidificação, visto que o óleo de coco não é um material estável. Os resultados obtidos aproximam-se do valor fornecido pelo fabricante de 25°C (Qualicoco, 2023). Considerando-se a temperatura ambiente do local de aplicação da pesquisa como 21,5°C, e também, a diferença nos valores da temperatura de fusão e solidificação devido a inconsistência do método em materiais não estáveis, o óleo de coco possui uma grande viabilidade como material de mudança de fase (PCM) em argamassas de revestimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método *T-History* é um método alternativo para estimar algumas propriedades do método *DSC* (Differential Scanning Calorimetry), concentrando suas vantagens na economia e praticidade em estimar o ponto de fusão e solidificação dos materiais. Contudo, considerando que o óleo de coco se provou um material instável, não gerando um platô de estabilização no gráfico, mas um fenômeno de super resfriamento, indica-se a realização de um ensaio *DSC* para obter dados mais precisos e averiguar os resultados obtidos pelo ensaio *T-History*.

Propõe-se também, a continuação dessa pesquisa para realizar uma análise aprofundada das propriedades do óleo de coco, bem como a aplicação prática desse material como componente PCM de argamassa de revestimento.

Palavras-chave: material de mudança de fase (PCM); óleo de coco; *T-History*; argamassa PCM.

ANEXOS

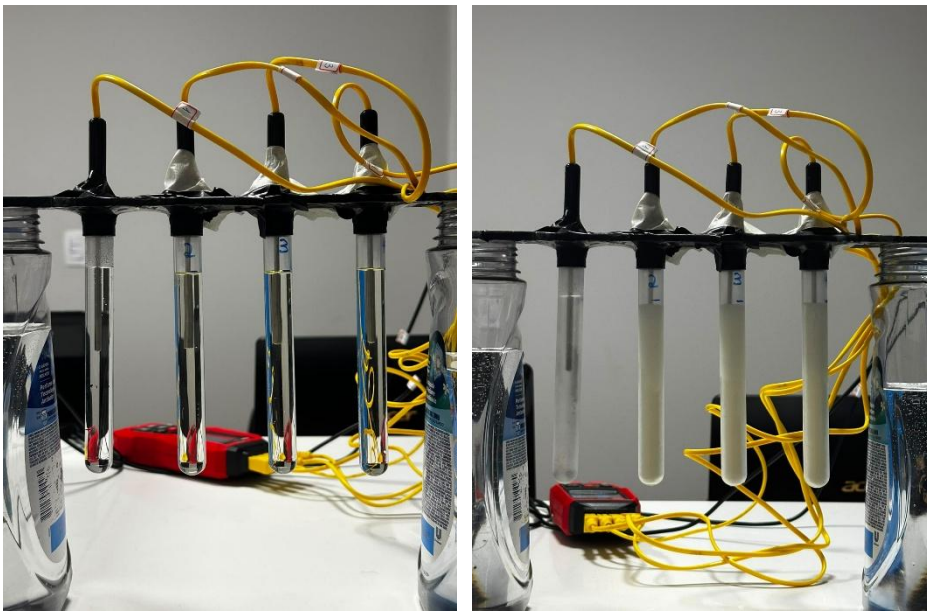


Figura 1. *Amostras de água e óleo de coco após o ensaio de temperatura de fusão (a) e solidificação (b).*

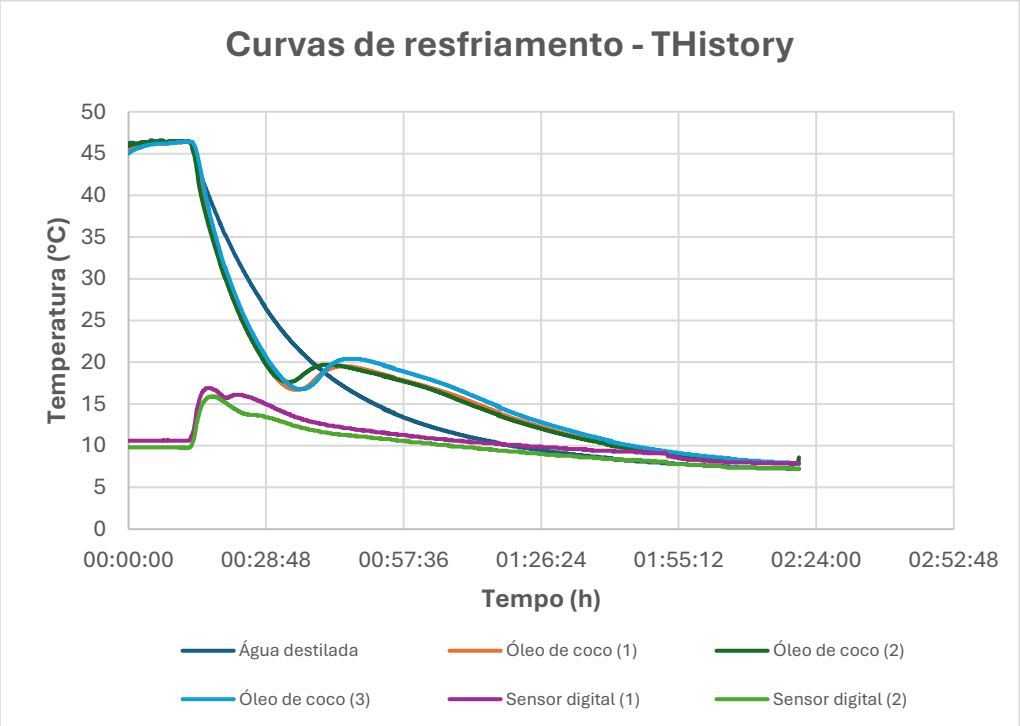


Figura 2. *Gráfico do ensaio T-History de resfriamento, indicando o fenômeno de super resfriamento.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ALQATHANI, T., MELLOULI, S., BAMASAG, A., ASKRI, F., PHELAN, P.E. **Experimental and numerical assessment of using coconut oil as a phase-change material for unconditioned buildings.** Int. J. Energy Res. 44, 5177–5196. 2020

[2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balanço Energético Nacional (BEN)** 2023. Rio de Janeiro: [s. n.], 2023.

[3] IOANNOU, A.; ITARD, L. C M. **Energy performance and comfort in residential buildings:** Sensitivity for building parameters and occupancy. Energy and Buildings, [s. l.], vol. 92, no February, p. 216–233, 2015.

[4] KALNAES, S. E.; JELLE, B. P. **Phase change materials and products for building applications:** a state-of-the art review and future research opportunities. Energy and Buildings, v. 94, p. 150–176, 2015.

[5] LEI, J.; YANG, J.; YANG, E. H. **Energy performance of building envelopes integrated with phase change materials for cooling load reduction in tropical Singapore.** Applied Energy, [s. l.], vol. 162, p. 207–217, 2016.

[6] MIRRAHIMI, S.; MOHAMED, M. F.; HAW, L. C.; IBRAHIM, N. L. N.; YUSOFF, W. F. M.; AFLAKI, A. **The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot humid climate.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], vol. 53, p. 1508–1519, 2016.

[7] RATHORE, P. K. S.; SHUKLA, S. K. **An experimental evaluation of thermal behavior of the building envelope using macroencapsulated PCM for energy savings.** Renewable Energy, v. 149, p. 1300–1313, 2020.

[8] SANTOS, T. L.; PORTO, F. H. F. S.; SILVA, A. S. **Análise da correlação entre conforto e desempenho térmico em habitações de interesse social por simulação computacional.** Ambiente Construído, v. 20, n. 2, p. 211-229, 2020.

[9] SAXENA, R.; RAKSHIT, D.; KAUSHIK, S. C. **Experimental assessment of characterised PCMs for thermal management of buildings in tropical composite climate.** 2018. Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering [...]. [S. l.]: Avestia Publishing, 2018.

[10] SHARMA, A., TVAGI, V.V., CHEN, C.R., BUDDHI, D. **Review on thermal energy storage with phase change materials and applications.** Renew. Sustain. Energy Rev. 13, 318–345. 2009

[11] SOCACIU, L; PLEŞA, A; UNGUREŞAN, P; GIURGIU, O. **Review on phase change materials for building applications.** Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, [s. l.], vol. 13, no 25, p. 179–194, 2014.

[12] SPARK, W**. Clima e condições meteorológicas médias em Joinville no ano todo.** 2026. Disponível em: https://pt.weatherspark.com/y/30040/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Joinville-Santa-Catarina-Brasil-durante-o-ano.

[13] QUALICOCO. **Óleo de coco sem sabor: Ficha técnica**. 2023 Disponível em: https://qualicoco.com/produto/oleo-de-coco-sem-sabor/tecnica.

[14] YINPING, Z; YI, J; YI, J. **A simple method, the-history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials.** Measurement Science and Technology, v. 10, n. 3, p. 201-205, 1999.