



(11) BR 102017018558-3 B1

(22) Data do Depósito: 29/08/2017

(45) Data de Concessão: 27/06/2023

República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(54) Título: SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA UTILIZANDO MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE BASEADOS EM NANOCOMPÓSITOS POLIMÉRICOS BIODEGRADÁVEIS

(51) Int.Cl.: C09K 5/06; C08L 67/04; C01B 32/20.

(52) CPC: F24J 2/488; C09K 5/063; C08L 67/04; C01B 32/20.

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

(72) Inventor(es): PATRÍCIA LOPES BARROS DE ARAÚJO; ELMO SILVANO DE ARAÚJO; VALDILENE OLIVEIRA DA SILVA.

(57) Resumo: Esta patente de invenção desenvolve a produção de Materiais de Mudança de fase (MMFs) de forma fixada baseados em nanocompósitos poliméricos biodegradáveis e produzidos a partir da impregnação a vácuo de poliésteres ao grafite expandido. Os materiais desenvolvidos atuam acumulando energia térmica, armazenando ou liberando calor latente no momento em que sofrem transição da fase sólida à líquida. Os resultados obtidos mostram que não ocorreram interações químicas entre o grafite e o polímero presente na amostra. Além disso, as propriedades térmicas dos MMFs não apresentaram alterações significativas quando estes se encontraram na presença do grafite, mesmo sendo esse material um bom condutor térmico. Ademais, exibiram bom desempenho quanto à estabilidade térmica, mantendo a termodegradação bem acima dos valores de temperatura fusão, não demonstrando variação nesta temperatura, tampouco na temperatura de cristalização.

SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA UTILIZANDO
MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE BASEADOS EM NANOCOMPÓSITOS
POLIMÉRICOS BIODEGRADÁVEIS

[01] A presente patente de invenção descreve nanocompósitos poliméricos para uso como Materiais de Mudança de Fase (MMF) ambientalmente amigáveis, de baixo custo e de forma fixada, para aplicações em acumuladores de energia térmica em sistemas operando com temperaturas de até 70 °C, para aquecimento de água; bem como, sistemas com temperaturas mais elevadas, em torno de 150 ou 225 °C, com aplicação no aquecimento de tubulações de óleos quentes.

[02] Os sistemas de armazenamento de energia térmica com aplicação para aquecimento de água (temperatura abaixo dos 100 °C) pode apresentar um coletor solar de placa plana e um reservatório termicamente isolado (*boiler*). Nestes sistemas, o MMF é responsável por absorver o calor fornecido pelas placas, liberando-o quando o sistema não estiver da presença da luz solar e diminuindo assim a utilização de energia elétrica.

[03] Os sistemas de armazenamento de energia térmica não estão necessariamente limitados à fonte termossolar de energia. Existem quantidades consideráveis de resíduos de energia na forma de calor que são gerados em diversos tipos de aplicações que, se devidamente armazenadas, podem ser utilizados em outros momentos ou em outros locais, quando necessário. São exemplos os sistemas integrados de transporte de calor, nos quais se coleta o excesso do calor produzido em plantas industriais, empregando-os em pontos mais afastados. Além disso, calor latente de fusão pode ser armazenado e aplicado em tubulações de fluidos aquecidos. É importante perceber que estas aplicações estão limitadas à faixa de fusão dos MMFs, uma vez que o armazenamento e liberação de energia ocorre durante a fusão e solidificação destes materiais. Dessa forma, faz-se necessário a utilização de MMFs com temperatura de fusão adequada a cada necessidade.

[04] O MMF armazena a energia térmica durante a transição de fase do nanocompósito através da destruição ou formação de interações intermoleculares ou interiônicas (TYAGI; BUDDHI, 2007).

[05] Para armazenar o calor latente de fusão, estes materiais são então submetidos a processo de transição de fase do estado sólido para o estado líquido. Neste processo, os MMFs tendem a escoar e se acumular nas extremidades inferiores dos dispositivos de armazenamento de energia. A fim de evitar este problema, são utilizados materiais porosos para, enquanto o MMF se encontrar no estado líquido, concentrar o MMF em seus espaços vazios. Esses compósitos são denominados MMF de forma fixada (MEHLING, H; CABEZA, L. F, 2008).

[06] Nos últimos anos, diversas classes de materiais têm sido sugeridas como MMFs, sendo estes bastante utilizados em sistemas de armazenamento de energia térmica para aquecimento de água e ambientes. A patente WO 2011071402 A1 descreve a impregnação de microcápsulas de MMF, juntamente com um ligante a base de cal e outros materiais auxiliares, em argamassas para aplicação no revestimento interior e exterior de sistemas construtivos. Onde as microcápsulas do MMF são constituídas por cera de parafina e encapsuladas com o Polimetacrilato (PMMA). O MMF é adicionado em pó à argamassa, a mistura é homogeneizada e depois é adicionada a água necessária para o valor de espalhamento. A mistura é então amassada até ter a consistência de uma pasta fluida, sendo aplicada de acordo com as técnicas de aplicação das argamassas tradicionais, promovendo conforto térmico no ambiente ao qual estiver inserido.

[07] A patente WO 2015130183 A1 consiste num sistema que permite efetuar a gestão ativa de energia numa parede ou pavimento de concreto, no revestimento ou numa placa pré-fabricada de concreto, através do controle e monitoramento dos sistemas de aquecimento integrados e do ambiente envolvente. Os MMFs são incorporados nos materiais cimentícios para acumulação do calor gerado pelos circuitos de aquecimento e o libera quando os circuitos estiverem inativos (desligados). Esta incorporação é realizada ao nível da superfície do concreto voltada para o interior do edifício, no sentido de maximizar o efeito de liberação de calor na zona onde se pretende que o efeito seja sentido.

[08] A patente US8333903 B2 refere-se à invenção de um compósito produzido com cerca de 20 a 80 % de MMF e de 20 a 80 % de um material de suporte contendo Polietileno de Baixa Densidade (VLDPE), Borracha de Etileno-Propileno (EPR), copolímeros de Estireno-Etileno-Butadieno-Estireno (SEBS) e de Estireno-Butadieno-Estireno (SBS). Tais suportes serão escolhidos de acordo com a aplicação do MMF proposto, onde faz-se necessário o gerenciamento térmico, como por exemplo, na construção, em embalagens, no setor automotivo, têxtil e de calçados. A cera de parafina é utilizada como MMF pelos autores e o acoplamento à matriz polimérica é feito através do compatibilizante Elvaloy AC. Assim, são produzidas folhas de MMF com espessuras entre 0,5 e 10 mm, fabricadas diretamente pela extrusão do compósito ou pela laminação a quente.

[09] Não estão listados na literatura patentes ou registros da utilização de nanocompósitos poliméricos atuando em sistemas de armazenamento de energia térmica com os materiais descritos neste documento. Tampouco estão listados registros sobre a utilização de MMF na manutenção da temperatura de tubulações de fluidos quentes.

[010] Os materiais apresentados nesta patente de invenção substituem materiais convencionais, tais como a parafina e sais fundidos, proporcionando maior adequação às temperaturas das aplicações propostas, barateando os custos e diminuindo os riscos de contaminação, em caso de vazamento do MMF para a água. Os poliésteres aqui utilizados são ambientalmente amigáveis, apresentando biodegradabilidade frente a microorganismos presentes em meios de compostagem (Lefebvre *et al.*, 1994, Savenkova *et al.*, 2000).

[011] Esta invenção tem como objetivo o desenvolvimento de novos MMFs de forma fixada fabricados com polímeros de ponto de fusão abaixo de 100 °C, para aplicação em sistemas acumuladores de calor latente de fusão para aquecimento de água. Estes dispositivos podem vir a ser incorporados às estruturas dos *boilers* em forma de blocos protegidos por camadas de plásticos resistentes à água.

[012] São também objetos deste pedido de patente de invenção a confecção de MMFs adequados a aplicações em temperaturas mais altas, agindo na manutenção da

temperatura de tubulações de óleo que necessitem fluir a quente. Para tal, os dispositivos são fabricados com polímeros de ponto de fusão de até 150 °C.

[013] Para a confecção das amostras foram utilizados diversos polímeros biodegradáveis: poliésteres de cadeia linear e poliéteres, tais como, mas não restritos a: Poli(ϵ -caprolactona) (PCL), Poli(4-hidroxibutirato) (P4-HB), Poli(3-hidroxibutirato) (P3-HB), Poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) (P3-HB-co-3-HV), Poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxiexanoato) (P3-HB-co-3-HH), Poli(L-lactídio) (PLLA) e Poli(ácido glicólico) (PGA), e suas blendas com o Poli(óxido de etileno) (PEO), em mistura com Grafite Expandido (GE) como material de suporte nanoporoso, para produzir MMFs de forma fixada.

[014] Para realizar a expansão do grafite foi utilizado o método de intercalação do grafite natural em flocos com ácidos fortes (H_2SO_4/HNO_3 , em diversas proporções) como agentes intercalantes. Esta mistura foi mantida sob agitação por 12 a 24 h, à temperatura ambiente. Após esse tempo, o grafite recebeu sucessivas lavagens com água destilada, até que o meio estivesse neutro. Em seguida, a amostra secou à temperatura ambiente por 48 h, em placa de Petri e, posteriormente, foi levada à estufa de secagem por 24 h, a 80 °C.

[015] A confecção do MMF de forma fixada é realizada a partir da incorporação mecânica dos materiais poliméricos ao GE através da impregnação a vácuo. Uma metodologia representativa está apresentada a seguir: polímeros biodegradáveis ou suas blendas foram misturados com GE e selados em um Kitassato de 250 mL. O recipiente foi evacuado e, posteriormente, aquecido, em banho-maria para a fusão da fração polimérica. Após a fusão a mistura foi agitada em agitador magnético e resfriada a temperatura ambiente (ZHANG *et al.*, 2005). Todas as amostras foram produzidas em triplicata.

[016] Para estimar a resistência térmica dos MMFs no tempo, e simular condições extremas de uso, as amostras de MMFs de forma fixada foram aquecidas até fusão da fração polimérica, em atmosfera normal, por um período de aproximadamente 1.700 h. Este processo de envelhecimento térmico permitiu estimar se a fração polimérica seria capaz de suportar prolongados períodos de aquecimento sem degradação apreciável.

[017] A caracterização dos MMFs foi realizada por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV) para avaliação da morfologia; difratometria de raios-X (DR-X) para análise da cristalinidade; análise espectroscópica no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR), para verificar possíveis interações químicas entre o MMF e o GE; calorimetria exploratória diferencial (DSC) e termogravimétrica (TGA) para determinação das propriedades térmicas. Para analisar a estabilidade térmica ao longo da sua vida útil, os materiais foram submetidos a 1000 ciclos de fusão e cristalização, em temperaturas com variação de 100 °C em um aparelho de DSC.

[018] As amostras de MMFs de forma fixada foram prensadas e moldadas em pastilhadores manuais de 14 mm de diâmetro, adquirindo assim, o formato de pastilhas com cerca de 3 mm de espessura (Figura 1). Na Figura 2 são exibidos os dois materiais a 84 °C. Nela, é possível observar a pastilha de PCL totalmente fundida e sem formato definido, enquanto a pastilha de PCL/GE permaneceu com sua forma inalterada.

[019] A Figura 3 mostra uma ampla rede de microporos dispersos aleatoriamente na superfície do GE, indicando uma grande área superficial que possibilita excelente capacidade de absorção. O MMF penetra nesses poros através de forças de capilaridade, evitando o escoamento do polímero quando submetido ao processo de fusão.

[020] Dados representativos dos materiais utilizados na confecção do MMF de forma fixada são mostrados a seguir: Os difratogramas para o GE, PCL e PCL/GE podem ser visualizados na Figura 4. Nela, é possível observar que o GE tem um pico de forte difração em $2\theta = 26,46^\circ$ atribuído, segundo a literatura, ao plano cristalográfico (002) do grafite e a PCL apresenta picos definidos em $2\theta = 21,41^\circ$, $21,97^\circ$ e $23,66^\circ$ que correspondem aos planos cristalográficos (110), (111) e (200), respectivamente. O compósito PCL/GE, por sua vez, apresenta os quatro picos de difração característicos das substâncias que compõe este MMF de forma fixada, em $2\theta = 21,29^\circ$, $21,97^\circ$, $23,55^\circ$ e $26,49^\circ$. Não foram identificados novos picos de difração no MMF de forma fixada, indicando que não houve modificação da estrutura cristalina dos componentes. A Figura 5a, mostra o difratograma característico do PEO, com dois picos fortes em $2\theta = 19,13^\circ$ e $23,27^\circ$, correspondentes aos planos cristalográficos (120) e (032), respectivamente.

[021] Na Figura 5b é mostrado o difratograma do PCL/PEO/GE, no qual são identificados cinco picos, em $2\theta = 19,03^\circ$, $21,29^\circ$, $21,83^\circ$, $23,55^\circ$ e $26,49^\circ$ todos relacionados aos seus respectivos constituintes, indicando, mais uma vez, o não surgimento de novas simetrias cristalinas.

[022] Após o processo de envelhecimento térmico, os materiais mantiveram os mesmos padrões de difração. Na Figura 6 é possível observar os picos relacionados aos compósitos de PCL/GE em $2\theta = 21,30^\circ$, $21,86^\circ$, $23,59^\circ$ e $26,49^\circ$. Para os compósitos baseados nas blendas de PCL/PEO com o grafite, os difratogramas apresentam, além dos já citados, o pico em $2\theta = 19,14^\circ$, referente ao PEO presente na blenda. Através dessa análise, pode-se observar que o processo de envelhecimento térmico não altera o padrão de difração dos MMFs de forma fixada.

[023] Resultados de análises espectroscópicas para os MMFs de forma fixada e seus componentes confirmam os dados de difratometria. A Figura 7 apresenta os espectros de absorção na região do infravermelho (FTIR) para as amostras de GE e PCL controle e dos compósitos de PCL/GE, com 9 % de GE (PCL/GE(9%)). Nesta imagem podem-se observar as bandas de absorção típicas do PCL como a deformação angular do grupo CH_2 em 1468 cm^{-1} , estiramento da carbonila ($\text{C}=\text{O}$) em torno de 1717 cm^{-1} , estiramento da ligação $\text{C}-\text{O}$ e $\text{C}-\text{C}$ em 1288 cm^{-1} , estiramento simétrico e assimétrico ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$) em 1170 e 1234 cm^{-1} e estiramento simétrico e assimétrico do grupo CH_2 em 2854 e 2937 cm^{-1} , respectivamente. Os espectros dos compósitos de PCL/GE apresentaram o mesmo comportamento do PCL controle. O envelhecimento térmico, sofrido pelo mesmo compósito também não apresentou alteração nas bandas de absorção, evidenciando a estabilidade do material frente ao aquecimento. Como evidenciado pelo espectro do MMF PCL/GE (15%) exibido na Figura 8.

[024] A Figura 9 mostra o termograma referente ao PCL, ao GE e ao compósito PCL/GE. A temperatura média de *onset* da degradação para o PCL foi de $287,26 \pm 6,03^\circ\text{C}$, enquanto que o GE iniciou a degradação em $814,94^\circ\text{C}$. Neste termograma é possível observar que o MMF de forma fixada apresentou duas etapas de degradação, sendo a primeira referente à degradação do PCL no material, com a média de temperatura *onset* em $267,22 \pm 16,78^\circ\text{C}$ e a outra etapa é devida à degradação do GE,

com seu *onset* em 781,25 °C. A partir desses dados, percebe-se que a presença do GE não alterou a estabilidade térmica do PCL no compósito, quando comparado aos materiais de controle, uma vez que a degradação térmica destes materiais apresenta valores semelhantes quando o desvio padrão é considerado. Desta maneira, as amostras de MMF de forma fixada mantêm boa estabilidade, degradando-se acima dos 250 °C (ROUF; KOKINI, 2016).

[025] Na Figura 10 é possível comparar os termogramas dos compósitos na presença do PEO (PCL/PEO/GE) com o compósito produzido apenas com o PCL (PCL/GE). O PEO tem o início da degradação marcado em 240,28 °C e o PCL em 287,26 °C, enquanto que o valor médio para a degradação do compósito PCL/PEO/GE é de $264,03 \pm 8,16$ °C. Observa-se ainda que os termogramas apresentaram o mesmo comportamento na primeira etapa de degradação. Entretanto, a blenda mostrou uma menor média na estabilidade, quando comparada com o composto de PCL/GE.

[026] A Figura 11 apresenta os termogramas para as amostras de PCL/GE e PCL/PEO/GE após o envelhecimento térmico. As temperaturas de *onset* de degradação foram de $274,04 \pm 3,19$ °C e $273,93 \pm 7,73$ °C para PCL/GE e PCL/PEO/GE, respectivamente.

[027] O *onset* de degradação obtido para o PHB foi de 276,07 °C, com apenas uma etapa de degradação. Para o MMF de forma fixada PHB/GE, a média foi de $277,36 \pm 4,18$ °C e seu termograma pode ser visualizado na Figura 12, apresentando, de forma semelhante aos compósitos de PCL, duas etapas de degradação térmica, referentes à decomposição polimérica e à do GE. Ademais, as amostras mostraram uma boa estabilidade térmica, mantendo o início da degradação acima dos 250 °C.

[028] A Figura 13 mostra os termogramas referentes aos compósitos de PHB/PEO/GE, e PHBV/PEO/GE. A degradação do PHB/PEO/GE apresentou sua temperatura de *onset* em $276,54 \pm 2,21$ °C, não demonstrando influência significativa pela presença do PEO na termodegradação desse MMF de forma fixada, quando comparado ao PHB/GE. Esta mesma afirmação pode ser estendida ao compósito PHBV/PEO/GE, onde seu *onset* de degradação foi definido em $278,90 \pm 3,24$ °C.

[029] Os termogramas de DSC da Figura 14 mostram que a faixa da temperatura de fusão da PCL e do compósito PCL/GE não foi alterada após a inserção do GE, uma vez que as fusões ocorreram em $57,01 \pm 0,26$ e $57,02 \pm 0,93$ °C, respectivamente. Integrando a curva endotérmica referente à fusão dos MMFs, encontra-se os valores das entalpias de fusão para o PCL/GE e PCL/PEO/GE, $58,03 \pm 3,66$ e $57,17 \pm 1,99$ J/g, respectivamente. Na Figura 15 é possível fazer uma comparação entre as endotermas dos compósitos de PCL/GE e PCL/PEO/GE que inicia o processo de fusão em temperaturas muito próximas, com a média do MMF, na presença do PEO, em $57,27 \pm 1,56$ °C. Observa-se também que esta blenda de PCL/PEO apresenta um único pico de transição de fase e uma temperatura de fusão inferior aos valores obtidos para os polímeros, indicando entre eles uma mistura eutética, uma vez que o *onset* de fusão do PEO foi obtido em 64,12 °C.

[030] Na Figura 16 são apresentadas as curvas de fusão das amostras de PCL/GE e PCL/PEO/GE, após o envelhecimento térmico. O primeiro compósito iniciou o processo de fusão em $56,41 \pm 0,41$ °C e o compósito com a blenda em $52,50 \pm 2,74$ °C. Do mesmo modo que ocorreu na degradação, não é possível observar variação significativa da temperatura de fusão entre as duas amostras de MMF antes e após o envelhecimento. Nestes compósitos tampouco observa-se uma variação significativa no valor da entalpia de fusão, que foi de $53,16 \pm 2,68$ e $50,35 \pm 3,51$ J/g, respectivamente.

[031] As endotermas da Figura 17 para os MMFs, com elevada temperatura de fusão, revelaram uma redução neste valor. O PHB iniciou seu processo de fusão em $163,64 \pm 1,98$ °C, enquanto o *onset* de fusão do PHB/GE tem sua média em $136,96 \pm 12,17$ °C. Na Figura 18 é possível comparar os picos de fusão dos compósitos de PHB/GE e PHB/PEO/GE, onde este último compósito apresenta um único evento térmico. Este evento pode ser atribuído à sobreposição do PHB sobre a curva de fusão do PEO. De mesmo modo, os compósitos baseados em PHBV apresentaram o mesmo comportamento do PHB.

[032] A estabilidade térmica ao longo da vida útil dos MMFs de forma fixada é um parâmetro importante durante suas aplicações. Essa propriedade é apresentada na Figura 19 e as curvas são referentes ao PCL e ao PCL/GE, com 15 % de GE (PCL/GE(15%)),

ao longo de 1000 ciclos de fusão e solidificação. Esta imagem evidencia a estabilidade dos materiais frente aos determinados ciclos térmicos, onde percebe-se a estabilidade nas temperaturas de fusão e cristalização. Entretanto, após 1000 ciclos de aquecimento, o valor da entalpia decaiu em cerca de 8,91 % com relação ao primeiro ciclo para o PCL. O compósito PCL/GE, por sua vez, apresentou o mesmo comportamento, com uma queda em torno de 7,75 % no valor da entalpia do mesmo compósito no primeiro ciclo. Esta diferença pode ser explicada pela lenta cristalização adicional sofrida pela fração polimérica no nanocompósito preparado, antes que este fosse submetido ao ciclo de fusões rápidas. Assim, a cristalização adicional não ocorre quando as fusões e cristalizações ocorrem com intervalos de alguns minutos entre elas. Mesmo assim, a fração do polímero que se cristaliza rapidamente e pode se submeter a novo ciclo de fusão é acima de 92% do total cristalizável, mostrando a viabilidade da invenção como MMF, mesmo quando os ciclos de fusão e solidificação são tão curtos quanto 25 ou 30 minutos.

[033] Os nanocompósitos aqui propostos como MMF se mantêm termicamente estável, operando de forma satisfatória por um período estimado de três anos, uma vez que cada ciclo de fusão/solidificação simula um dia de operação.

Lista de referências bibliográficas.

[034] FENG, L.; WANG, C.; SOONG, P.; WANG, H.; ZHANG, X. The form-stable phase change materials based on polyethylene glycol and functionalized carbon nanotubes for heat storage. **Applied Thermal Engineering**, v. 90, p. 952-956, 2015.

[035] Lefebvre, F., David, C.; Vander Wauven, C. Biodegradation of polycaprolactone by microorganisms from an industrial compost of household refuse. **Polymer Degradation and Stability**, v. 45, p.347-353, 1994.

[036] MEHLING, H; CABEZA, L. F. Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications. Heidelberg, Berlin: Springer, 2008.

[037] QI, G.; LIANG, C.; BAO, R.; LIU, Z.; YANG, W.; XIE, B.; YANG, M. Polyethylene glycol based shape-stabilized phase change material for thermal energy storage with ultra-low content of graphene oxide. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 123, p. 171-177, 2014.

- [038] ROUF, T. B.; KOKINI, J. L. Biodegradable biopolymer-graphene nanocomposites. **Journal of Materials Science**, v. 51, p. 9915-9945, 2016.
- [039] Savenkova, L.; Gercberga, Z.; Nikolaeva, V. Dzene, A.; Bibers, I. Kalnin, M. Mechanical properties and biodegradation characteristics of PHB-based films. **Process Biochemistry**, v.35, p. 573–579, 2000.
- [040] TYAGI, V. V.; BUDDHI, D. PCM thermal storage in buildings: A state of art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 6, p. 1146-1166, 2007.
- [041] XIONG, W.; CHEN, Y.; HAO, M.; ZHANG, L.; MEI, T.; WANG, J.; LI, J.; WANG, X. Facile synthesis of PEG based shape-stabilize phase change materials and their photo-thermal energy conversion. **Applied Thermal Engineering**, v. 91, p. 630-637, 2015.
- [042] ZHANG, D.; ZHOU, J.; WU, K.; LI, Z. Granular phase changing composites for thermal energy storage. **Solar Energy**, v. 78, p. 471-480, 2005.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de armazenamento de energia térmica utilizando materiais de mudança de fase, caracterizado por ser constituído de nanocompósitos poliméricos biodegradáveis e grafite expandido como material de suporte; desenvolvido a partir de nanocompósitos biodegradáveis de poliésteres de cadeia linear e poliéteres com baixo ponto de fusão, tais como Poli(ϵ -caprolactona), Poli (4-hidroxibutirato) e Poli(óxido de etileno), incorporados aos poros do grafite expandido através da técnica de impregnação a vácuo, podendo ser aplicado em sistemas de aquecimento de água.
2. Sistema de armazenamento de energia térmica utilizando materiais de mudança de fase, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por blendas de nanocompósitos poliméricos biodegradáveis e grafite expandido como material de suporte; desenvolvido a partir da confecção de blendas de nanocompósitos biodegradáveis de poliésteres de cadeia linear e poliéteres com baixo ponto de fusão, incorporadas aos nanoporos do grafite expandido através da fusão e impregnação a vácuo.
3. Sistema de armazenamento de energia térmica utilizando materiais de mudança de fase, de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por ser constituído de nanocompósitos poliméricos biodegradáveis e grafite expandido como material de suporte para aplicações em sistemas de aquecimento de tubulações de óleos quentes; confeccionado a partir de compósitos biodegradáveis de poliésteres de cadeia linear e poliéteres que apresentam elevado ponto de fusão, tais como Poli(3-hidroxibutirato), Poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) e Poli(ácido L-láctico), de maneira que estes materiais sejam incorporados aos poros do grafite expandido através da técnica de impregnação a vácuo.

FIGURAS

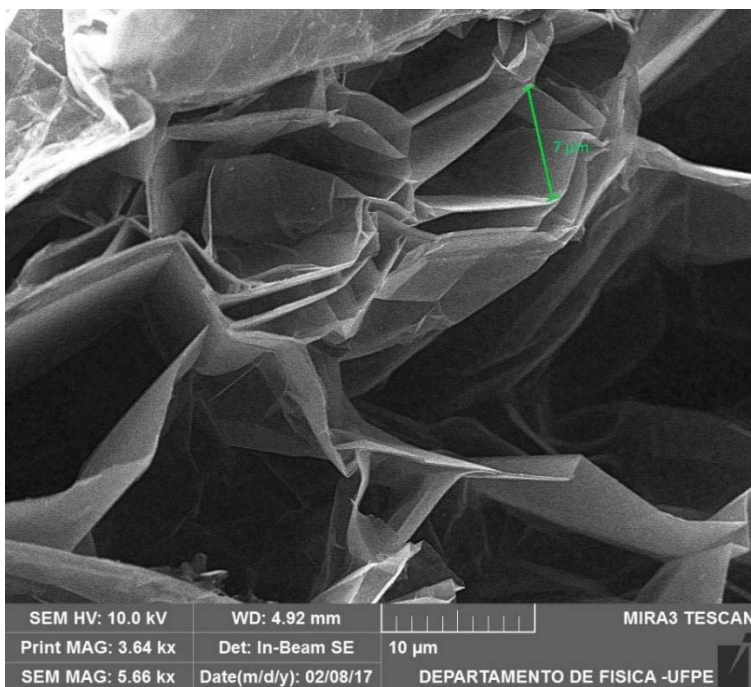
Figura 1



Figura 2



Figura 3



SEM HV: 10.0 kV	WD: 4.92 mm	MIRA3 TESCAN
Print MAG: 3.64 kx	Det: In-Beam SE	10 μm
SEM MAG: 5.66 kx	Date(m/d/y): 02/08/17	DEPARTAMENTO DE FISICA -UFPE

Figura 4

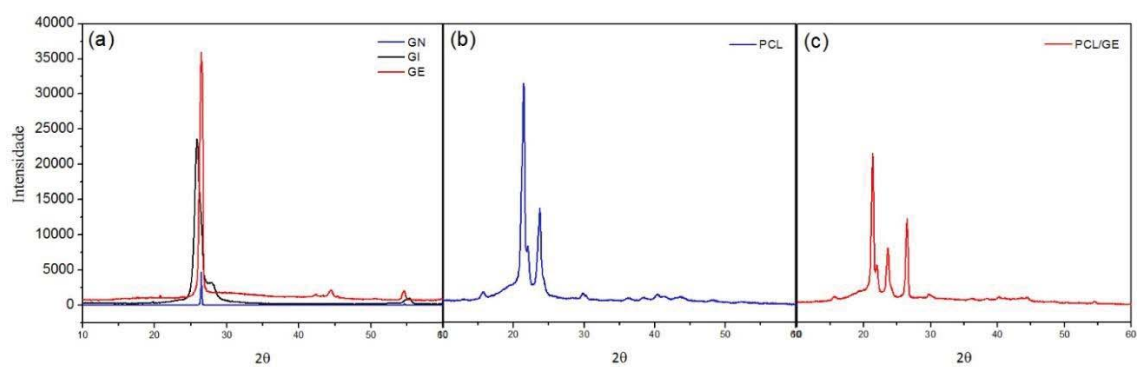


Figura 5

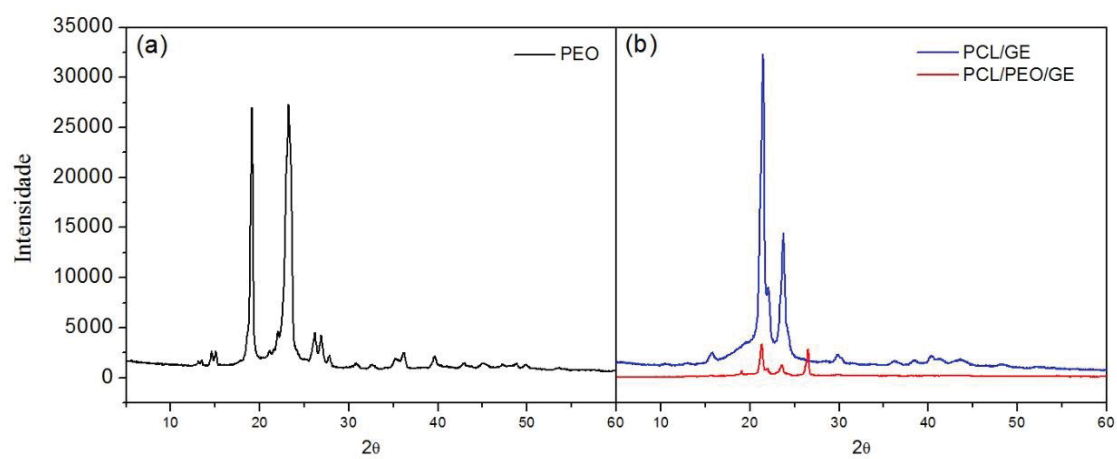


Figura 6

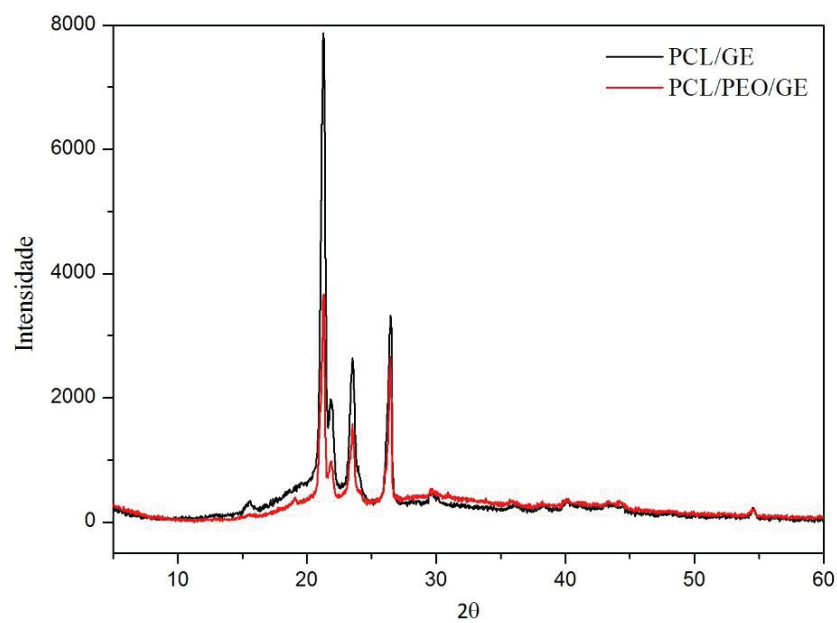


Figura 7

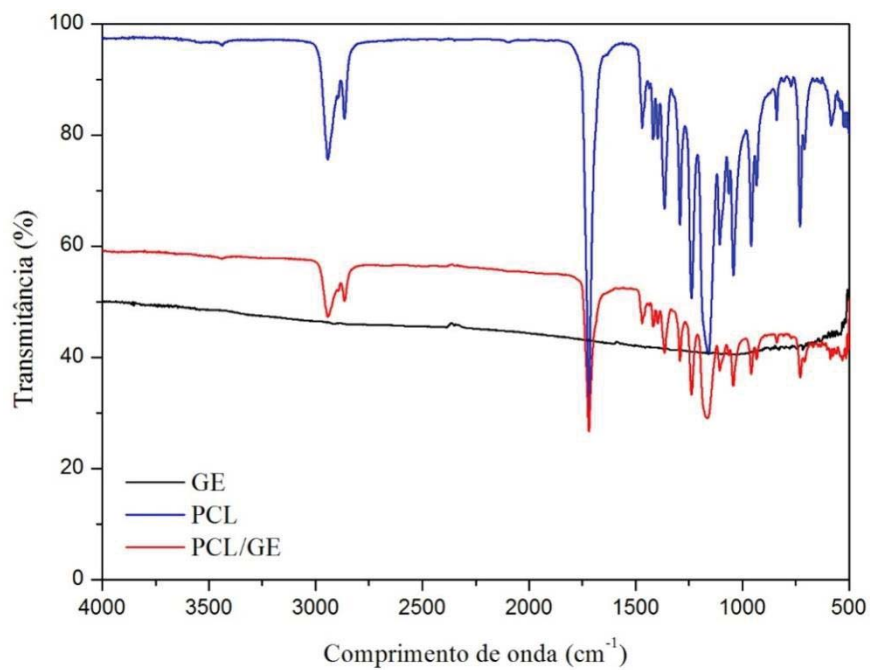


Figura 8

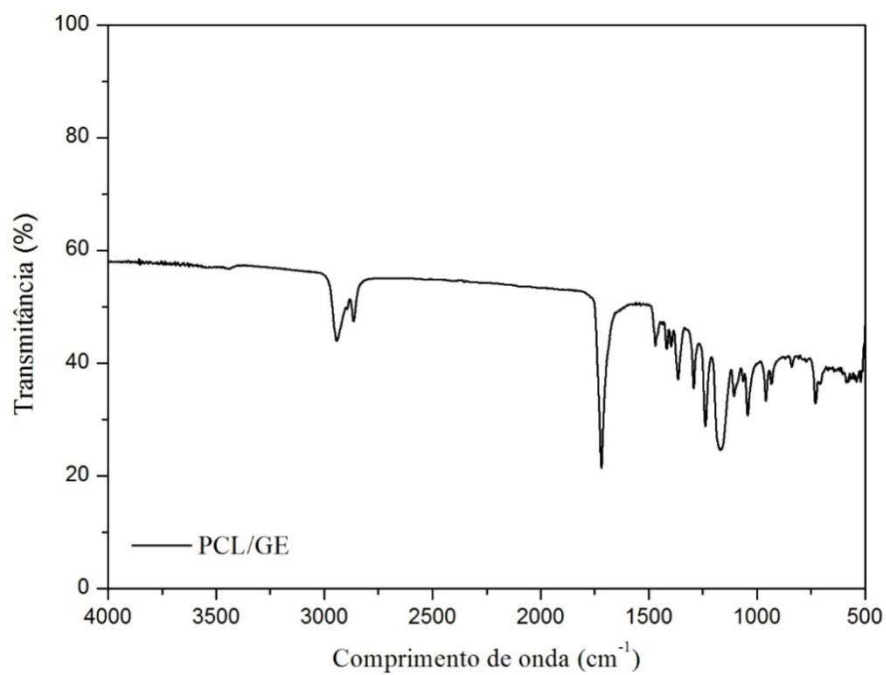


Figura 9

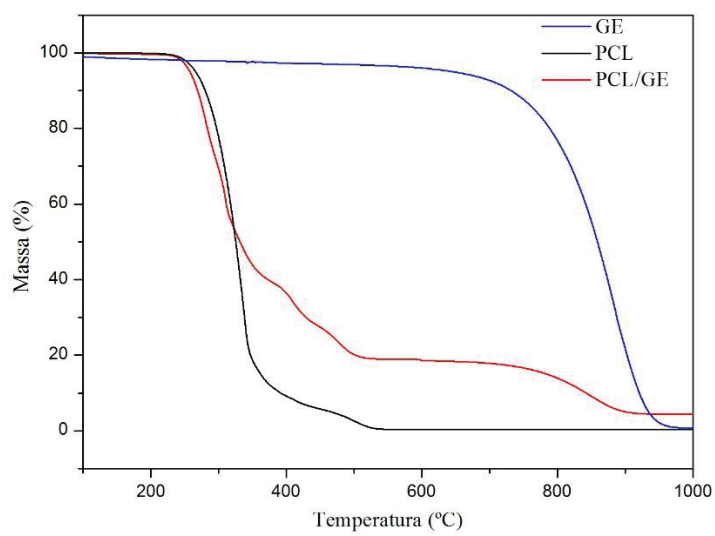


Figura 10

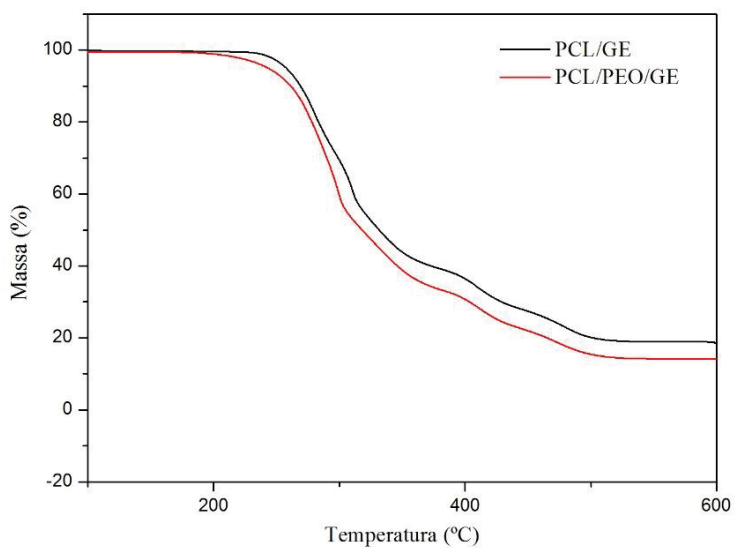


Figura 11

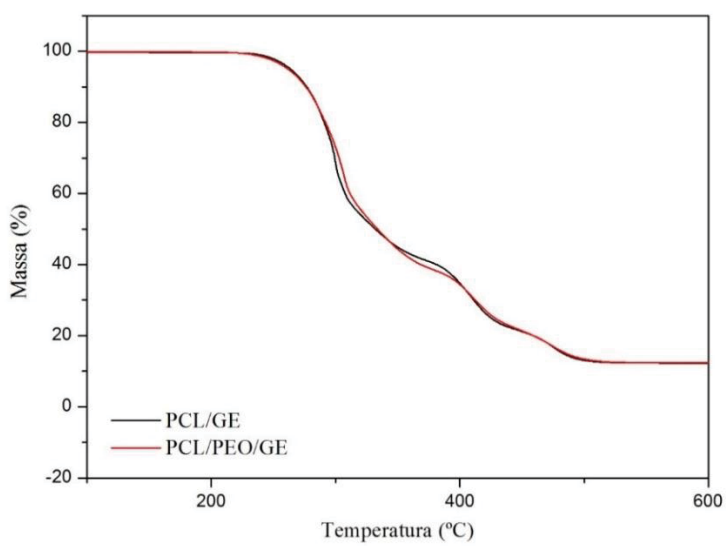


Figura 12

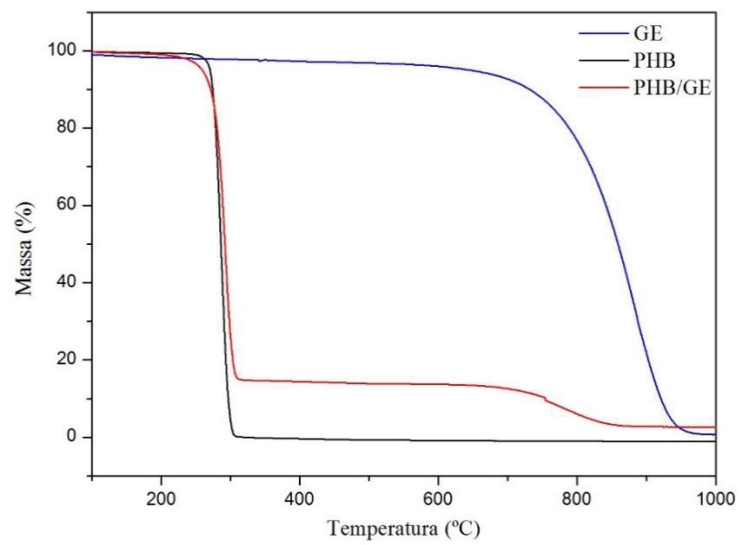


Figura 13

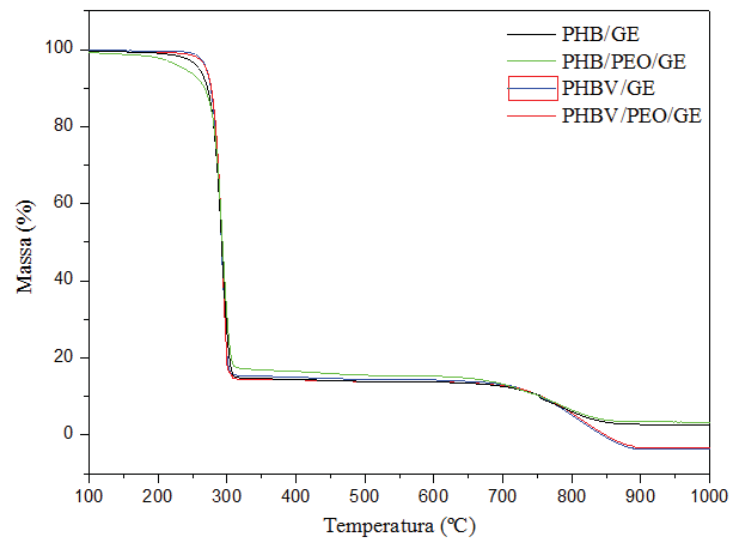


Figura 14

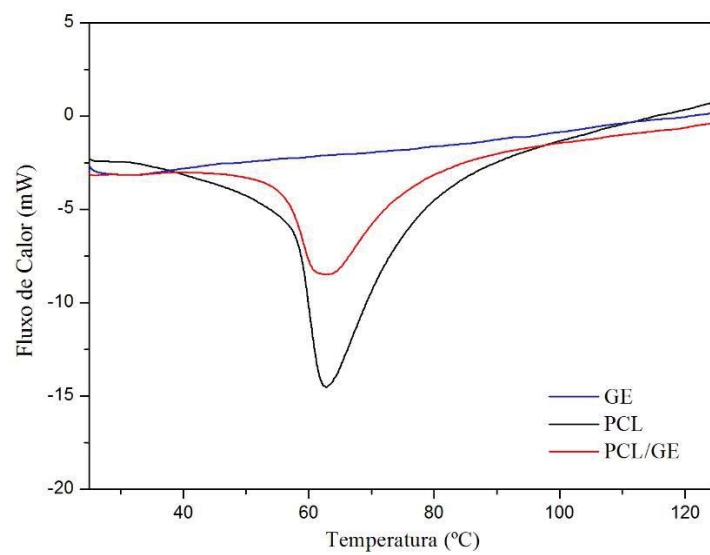


Figura 15

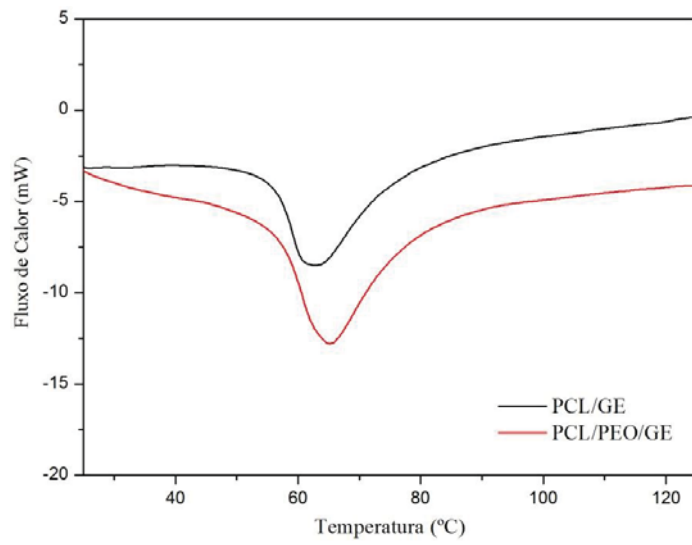


Figura 16

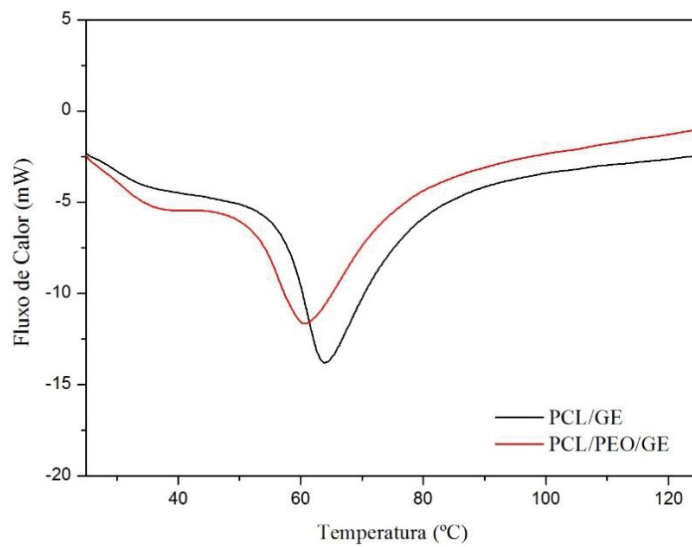


Figura 17

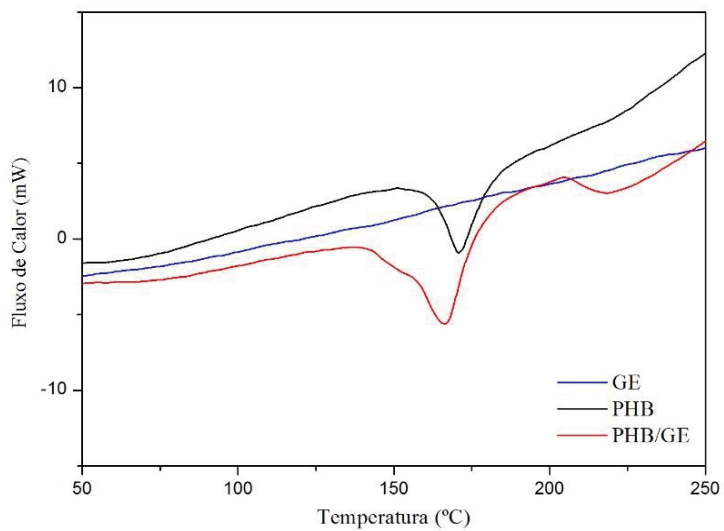


Figura 18

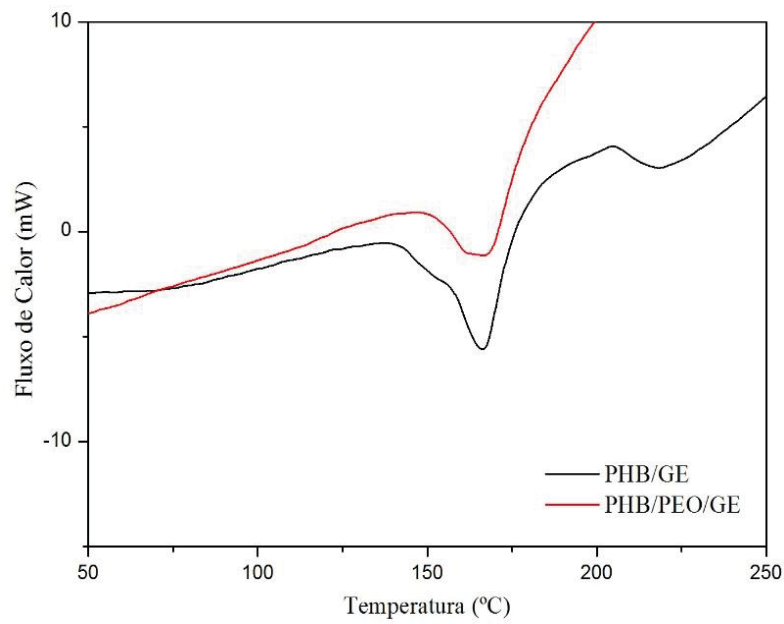


Figura 19

