COMPÓSITO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADO COM FIBRAS DE COCO E ANÁLISE DO PROCESSO DE CURA DA RESINA

Isabele De Moura Gomes Leal[1]
Maria Marliete Fernandes De Melo Neta[2]
Carlos Alberto Cáceres Coaquira[3]

RESUMO

O presente projeto visa analisar o processo de cura de resina poliéster utilizada como matriz de compósitos poliméricos. A casca do coco verde é comumente descartada gerando resíduos, como o projeto tem em vista o baixo custo, foi feito o aproveitamento da casca do coco verde para a extração das fibras que são o reforço (fase dispersa) utilizado no compósito polimérico de matriz epóxi (fase contínua). O estudo de monitoramento do processo de cura em compósitos poliméricos é fundamental pois a temperatura de cura afeta as propriedades finais do material. Neste projeto foi desenvolvido um dispositivo de monitoramento da temperatura de cura, composto por cinco termopares do tipo k, que são sensores térmicos de baixo custo e apresentam uma sensibilidade de 0,5 ºC e sua temperatura máxima de trabalho é de 800 ºC, distribuídos sobre as superfícies laterais do molde com área de 1600 mm^2, onde foi realizada a fabricação do compósito. Os dados obtidos são processados através do arduino e a aquisição de dados de temperatura é feita pela ferramenta complementar Plx-daq, que utiliza a plataforma do software Excel, possibilitando o acompanhamento e registro da variação de temperatura de cura do compósito polimérico estudado.

Palavras-chave: Compósitos Temperatura de cura Fibras de coco .

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Discente, isabelemoreira879@gmail.com[1]
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Discente, letteneta@gmail.com[2]
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Docente, caceres@unilab.edu.br[3]

ISSN: 2447-6161

INTRODUÇÃO

Atualmente a busca por fibras para reforço de compósitos poliméricos tem apresentado vários rumos, entre eles, visando o desenvolvimento sustentável, as fibras naturais, que são biodegradáveis, provenientes de fontes renováveis, tem baixo custo e possuem altas propriedades mecânicas e baixa densidade, ou seja, são mais leves que as fibras sintéticas. (BALZER et al, 2007). As fibras naturais como sisal, juta, bananeira e coco são abundantes no Brasil, mas não têm seu potencial explorado adequadamente e se tornam resíduos sólidos. As fibras provenientes de fontes renováveis tem baixo custo, destacando-se por sua biodegradabilidade, essas são envoltas pela fase matriz se tornando impermeáveis às intempéries, tendo maior durabilidade e melhoria nas propriedades. A obtenção de materiais de baixa densidade e altos níveis de preenchimento resultam em aumento na rigidez, na durabilidade e elevado módulo específico (NASCIMENTO; DIAS; DOMINGOS, 2018).

A fibra do coco é formada por lignocelulósico, que são aferidos do mesocarpo do coco, característico por sua durabilidade, resultante do alto teor de lignina, 41% a 45%, comparado a outros materiais fibrosos como a juta, o sisal e a fibra da banana, componente que proporciona maior rigidez e resistência à fibra. (WEARN; MONTAGNA; PASSADOR, 2020).

Segundo Callister (2002) compósito é a mistura de dois ou mais materiais de fases distintas, sendo elas, a fase dispersa ou reforço e a fase matriz que envolve o reforço. As propriedades finais do compósito são resultado da combinação das propriedades dos materiais constituintes.

Os polímeros são constituídos por macromoléculas compostas por unidades de repetição, ligadas entre si, predominantemente, por ligações covalentes. Os polímeros termorrígidos podem ser moldados e, após a primeira moldagem, são submetidos ao processo de cura, onde ocorre a formação de ligações cruzadas permanentes entre as macromoléculas do polímero. Quando o processo de cura é concluído, os polímeros fortalecem-se nas suas estruturas moleculares o que dificulta posterior fusão por ação do calor. (PITT; BOING; BARROS, 2011).

O processamento desses compósitos pode ser realizado em moldes de simples confecção e a disposição dos constituintes pode ser feita à mão ou automaticamente. A cura ou endurecimento da resina pode ocorrer com ou sem auxílio de pressão, temperatura ou vácuo. (SILVA, 2014). O processo de alteração nas propriedades químicas e físicas de uma determinada caracterização resina/endurecedor de um polímero termorrígido denomina-se cura, tais alterações são irreversíveis. Neste processo destacam-se dois fenômenos macroscópicos de maior importância sendo eles a gelificação e a vitrificação (COSTA; REZENDE; PARDINI, 1999).

As resinas de poliéster insaturadas são frequentemente utilizadas na fabricação de compósitos, devido sua facilidade de processamento, seu baixo custo e bom empenho entre propriedades mecânicas, elétricas e químicas. A resina sofre uma reação de cura envolvendo a reticulação de cadeias que leva ao endurecimento, para iniciar esse processo de cura é adicionado catalisadores como o peróxido orgânico e pode-se acelerar a cura com aceleradores especiais à base de cobalto. A velocidade de reação depende da reatividade da resina, do teor de acelerador e catalisador e das condições ambientais (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2011; CHAWLA, 2013).

O primeiro estágio do processo de cura é onde os monômeros reagem e ligam-se aos outros formando uma longa cadeia polimérica. Inicia-se a cura no segundo estágio a partir da ligação entre as moléculas formando uma cadeia, nesse estágio a resina comporta-se como gel, nesse ponto de gelificação as cadeias poliméricas iniciam as ligações cruzadas entre si. Finalmente no terceiro estágio a resina endurece e apresenta-se no estado sólido, onde atinge a cura completa. As propriedades térmicas e mecânicas finais de materiais termorrígidos são dependentes do processo de cura, e o mesmo é irreversível. (RAPONI, 2017).

A técnica mais usada no estudo do comportamento das resinas é a calorimetria exploratória diferencial

ISSN: 2447-6161

(DSC), por meio desta técnica é possível observar perfis de cura de sistemas reagentes, temperatura de transição vítrea e a determinação das melhores condições de preparação de compósitos. A técnica consiste em como os termopares são distribuídos no aparelho que registra os dados em função de tempo, gerando curvas permitindo assim a exibição de pico máximo ou mínimo da taxa de geração de calor, a taxa de reação coincide com a taxa de geração de calor, porém decresce em função do tempo. Por meio do DSC pode-se obter dois tipos de varreduras: as dinâmicas (fluxo de calor em função da temperatura) e as isotérmicas (fluxo de calor em função do tempo). (COSTA; REZENDE; PARDINI, 1999).

Para a realização do monitoramento contínuo da variação de temperatura e das condições de umidade é comum o uso de um sistema embarcado de baixo custo. A placa arduíno é um microcontrolador com circuito impresso, instrumento utilizado para criação de protótipos de eletrônica baseada nas filosofias de software e hardware livres, ou open sources. O dispositivo é composto por termopares do tipo k, que são sensores térmicos de baixo custo, conectados ao amplificador de sinal MAX-6675 tendo uma sensibilidade de temperatura de 0,5 ºC e temperatura máxima de trabalho de 800 ºC. A plataforma Arduíno é carregada com um código que realiza as medidas de temperatura em função do tempo e envia através de um cabo USB ao computador conectado a esse dispositivo, as medidas capturadas são mostradas numericamente por meio da ferramenta Plx- daq, que possibilita o envio dos dados de temperatura obtidos para uma planilha eletrônica. (DWORAKOWSKI et al, 2016).

O principal objetivo da presente pesquisa foi analisar o comportamento do processo de cura em compósito de matriz polimérica e reforço de fibras da casca do coco verde. Sendo criado um dispositivo medidor de temperatura onde é possível acompanhar as variações de temperatura durante a cura do compósito polímero. Esse acompanhamento é fundamental pois o processo de cura tem grande influência nas propriedades finais do material polimérico.

METODOLOGIA

Na obtenção do compósito para a pesquisa foi utilizada como matriz a resina poliéster insaturado com coloração esverdeada juntamente com seus respectivos catalisador e acelerador, e para a fase dispersa ou reforço foram processadas fibras naturais da casca do coco verde, extraídas manualmente, processo apresentado na figura 1.

Figura 1 – Processo de obtenção da fibra da casca do coco verde.

Fonte: Autor, 2020.

Os testes de cura foram realizados com resina poliéster adicionadas de catalisador e acelerador para inicializar o processo de endurecimento da resina. Conforme apresentado na figura 2, o molde para fabricação do compósito foi projetado através do software SolidWorks. A matéria prima utilizada para o molde foi madeira

Figura 2 – Molde para fabricação e teste de temperatura de cura do compósito.

Fonte: Autor, 2020.

Foi desenvolvido um dispositivo medidor de temperatura (Figura 3) consiste em cinco termopares tipo K, que são sensores térmicos de baixo custo e apresentam uma sensibilidade de 0,5 ºC e sua temperatura máxima de trabalho é de 800 ºC, que são conectados ao módulo MAX6675, que é um conversor digital direto do sinal recebido em cada termopar. Além disso, o dispositivo também é constituído por um micro controlador

ISSN: 2447-6161

eletrônico, o Arduino nano, que é acoplado a uma placa protoboard. E um sensor DHT11 que é responsável por captar os dados de umidade e temperatura do ambiente. Para o funcionamento do dispositivo desenvolveu-se um código inserido no software da plataforma Arduino, ao qual utiliza a ferramenta complementar Plx-daq para apresentar a aquisição de dados de temperatura em tempo real, através da plataforma do software Excel, dessa forma facilitando o acompanhamento e o manuseio dos dados obtidos.

Figura 3 - Esquema ilustrativo do dispositivo de medição de temperatura.

Fonte: Autor, 2020.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No procedimento de calibração dos termopares os resultados são apresentados em gráficos na forma de temperatura termômetro-termopar para encontrar a equação da curva de calibração (Figura 4a), e após, na forma de temperatura-tempo onde aplicou-se a equação de calibração para correção da temperatura de cura obtida no termopar (Figura 4b).

Figura 4 – a) Equação da curva de calibração e b) Temperatura de cura da resina poliéster após a correção com a curva de calibração

a) b)

Fonte: Autor, 2020.

Como resultado do procedimento de medição da temperatura de cura da resina poliéster, o resultado foi obtido na forma de curvas de temperatura x tempo, mostradas na figura 6. No teste preliminar todos os termopares estavam sujeitos as mesmas condições de temperatura e umidade inicial, com temperatura ambiente 23°C e apresentando 17% de umidade ambiente. Ao decorrer da obtenção do procedimento um dos sensores térmicos (termopar 2) apresentou erro na captura de dados então foi inutilizado. Os demais termopares alcançaram seus respectivos picos de temperatura aproximadamente no mesmo intervalo de tempo como mostra na figura 6a. O termopar 4 apresentou maior pico de temperatura atingida, onde podemos justificar tal resultado com um provável acúmulo de acelerador ou endurecedor na área em que o termopar se encontrava, que foi despercebido no processo de mistura das substâncias, causando reações exotérmicas mais intensas. A figura 6b apresenta o resultado dos dados de temperatura de cura obtidos em cada termopar com a correção da curva de calibração dos termopares.

Figura 6 - a) Curva da temperatura de cura dos termopares do teste com resina poliéster e b)Temperatura de cura da resina poliéster após a correção com a curva de calibração

a) b)

Fonte: Autor, 2020.

Na tabela 1, estão apresentados os dados de temperatura de pico de cura obtidos na medição e dados corrigidos pós calibração de termopares. O termopar que apresentou maior pico de temperatura de cura foi o

ISSN: 2447-6161

termopar 4, na medição efetiva alcançou 55,5°C e pós calibração do dispositivo obteve o aumento de 219,47% resultando na temperatura máxima corrigida de 121,81°C. Tratando-se de valores médios dos 4 termopares a temperatura de pico de cura foi 52,38°C e a temperatura máxima corrigida pós calibração foi de 112,31 °C onde o percentual de correção foi de 214,21%.

Na tabela 1, estão apresentados os dados de temperatura de pico de cura obtidos na medição e dados corrigidos pós calibração de termopares. O termopar que apresentou maior pico de temperatura de cura foi o termopar 4, na medição efetiva alcançou 55,5°C e pós calibração do dispositivo obteve o aumento de 219,47% resultando na temperatura máxima corrigida de 121,81°C. Tratando-se de valores médios dos 4 termopares a temperatura de pico de cura foi 52,38°C e a temperatura máxima corrigida pós calibração foi de 112,31 °C onde o percentual de correção foi de 214,21%.

Tabela 1 – Temperaturas de pico no processo de cura na medição e pôs calibração.

Fonte: Autor, 2020.

A partir desses dados foi possível determinar uma faixa de máxima temperatura de cura atingida pela resina poliéster de 100 a 120°C através do dispositivo de medição de temperatura desenvolvido no projeto.

CONCLUSÕES

Com a realização deste projeto foi construído um dispositivo medidor de temperatura no qual obteve-se bom desenvolvimento e êxito em seu funcionamento sendo possível o monitoramento em tempo real dos dados de temperatura obtidos através dos sensores térmicos. Entre os métodos de calibração aplicados, o que utilizou o ferro de solda como aquecedor foi ineficaz, mas o do aquecimento da água apresentou resultados satisfatórios dessa forma encontramos a melhor equação para calibração. O teste de cura da resina poliéster realizado utilizando os cinco termopares acoplados no molde fabricado apresentou resultados regulares, e devido às alterações que o termopar 2 apresentou foi possível a identificação de falha na conexão entre o termopar e o dispositivo. As curvas de temperatura no gráfico dos quatro termopares mostram o processo exotérmico que ocorreu até a cura total do material, após aplicarmos a fórmula de calibração os resultados chegaram a valores esperados.

Devido a pandemia ocasionada por Covid-19 iniciada em março 2020, não foi possível dar continuidade as atividades programadas deste projeto, portanto os resultados relacionados aos testes do processo de cura dos compósitos na presença da resina poliéster e fibras de coco verde não foram realizados.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a PROPPG, pela bolsa de iniciação cientifica da estudante I.M.G.L., sob o edital PROPPG 04/2019 PIBIC UNILAB/CNPq.

REFERÊNCIAS

BALZER, P. S. et al. Estudo das propriedades mecânicas de um composto de PVC modificado com fibras de bananeira. **Polímeros**. São Carlos. v. 17, n. 1, jan./mar., 2007. Disponível em . Acesso em: 08 abr. 2020.

CALLISTER, William D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 5ªedição. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

ISSN: 2447-6161

CHAWLA, K.K. **Composite materials - Science and Engineering**, 3.ed. ASM, Springer-Verlag, 2013.

COSTA, M. L.; REZENDE, M. C.; PARDINI, L. C. Métodos de Estudo da Cinética de Cura de Resinas Epóxi. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São José dos Campos – SP, p. 37-44, Abr./Jun., 1999.

DWORAKOWSKI, L. A. et al. Uso da plataforma Arduino e do software PLX-DAQ para construção de gráficos de movimento em tempo real. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, 2016. Disponível em . Acesso em 28 mar. 2020.

MOURA, M. F. S. F.; MORAIS, A. B.; MAGALHÃES, A. G. **Materiais Compósitos - Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico.** 2ª Edição ed., Porto, Publindústria, 2011.

NASCIMENTO, M. P. F.; DIAS, A. G.; DOMINGOS, J. L. O. Importância de compósitos sustentáveis fibra natural - polímero para produção de "madeira plástica" para fins naval e náutico. **Revista PAGMAR**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 6, p. 71 - 76, jan./dez. 2018.

PITT, F. D.; BOING, D.; BARROS, A. A. C. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO, CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DE POLÍMEROS SINTÉTICOS E DE FONTES RENOVÁVEIS. **Revista da Unifebe** nº 9, 2011.

RAPONI, O. A. **DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DIELÉTRICO PARA MONITORAMENTO DA CURA DE RESINAS TERMORRÍGIDAS**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências em Materiais para Engenharia) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

SILVA, I. L. A. **PROPRIEDADES E ESTRUTURA DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS CONTINUAS DE JUTA.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2014.

WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. **Matéria (Rio J.).** Rio de Janeiro. v.25, n.1, 06, abr., 2020.

ISSN: 2447-6161