

Projeto e Fabricação de uma Estufa Pressurizada (Autoclave) para Pós-cura de compósitos de matriz polimérica

Rodrigo Cardoso de Menezes (UFMG) menezes.eng@hotmail.com
Deibe Valgas dos Santos (Centro Universitário UNA) deibe.santos@prof.una.br
Rodrigo Garcia Ribeiro (UFMG) rodrigogr_23@hotmail.com
Breno Ferreira Lizardo (UFMG) bflizardo@gmail.com
Juan Carlos Campos Rubio (UFMG) juan@ufmg.br

Resumo:

Num cenário corporativo altamente competitivo, onde a qualidade dos produtos é um dos pontos essenciais para o seu sucesso, a secagem é um dos processos industriais mais empregados. A secagem também é empregada no processamento de compósitos e de produtos fabricados por impressão 3D com líquido infiltrante. No processo de cura de compósitos é possível alterar as propriedades mecânicas dos compósitos, por estas serem fortemente influenciadas pelas condições de temperatura e pressão durante a polimerização da matriz. No caso dos produtos da impressão 3D, a secagem reduz a duração dos processos de desumidificação e de cura do líquido infiltrante. Este trabalho descreve o desenvolvimento e a construção de uma estufa de secagem adaptada a partir de um vasilhame P13, para atender às demandas do Laboratório de Processos Avançados de Manufatura da Universidade Federal de Minas Gerais - LEPAM/UFMG. O LEPAM desenvolve pesquisas relacionadas a compósitos laminados utilizando fibras naturais e pesquisas relacionadas à prototipagem rápida por impressão 3D com líquido infiltrante. Ressalta-se que, por restrição de tempo, não foi possível processar nenhum material, contudo, testes futuros serão realizados para avaliar o desempenho da estufa.

Palavras-chave: Autoclave, Forno pressurizado, Métodos de pós-cura para resinas compostas.

Design and manufacturing of a autoclave (pressurized oven) for post cured of polymeric matrix composites

Abstract:

In a corporative cenary, highly competitive, where the quality of products is one of the essential points for the sucess, drying is one of the most used industrial processes. Drying is also used on the processing of composites, such as products manufactured by 3D printing that uses infiltrating liquid. In the process of composite curing, it is possible to modify the mechanical properties of the composites, because they are highly influenced by the temperature and the pression during the polymerization of the matrix. In the case of 3D printed products, drying reduces the duration of the dehumidification process and the infiltrating liquid curing process. This work describes the development and construction process of a kiln adapted from a container P13, to attend the necessities of Advanced Manufacturing Process Laboratory of Federal University of Minas Gerais - LEPAM/UFMG. LEPAM realizes reseaches relationed to laminated composites using natural fibers, and also

researches about rapid prototyping using 3D printing with infiltrating liquid. Due to time restrictions, it wasn't possible to process any material, although, future tests are going to be realized in order to verify the kiln performance.

Keywords: Autoclave, pressurized oven, Post-cure methods to composite resins.

1. Introdução

Em um ambiente corporativo altamente competitivo, onde a qualidade do produto é um dos pontos essenciais para o seu sucesso, a secagem é um dos processos industriais mais empregados para melhorar o acabamento ou equilibrar a umidade de um material processado ao ar ambiente. O primeiro sistema de secagem utilizado no mundo foi o de secagem natural, com a utilização do sol e do ar para a secagem dos produtos, sendo eles em sua maioria grãos colhidos nas lavouras. Porém, a qualidade desses produtos ficava comprometida devido a não uniformidade da secagem, variando de acordo com o clima em que o produto estivesse exposto. Diante desse fato surgiu a necessidade da construção de secadores especiais (COSTA, 2007).

A secagem também é empregada na cura de diversos materiais, inclusive os compósitos e os produtos fabricados por impressão 3D com líquido infiltrante, alterando as características do material através da modificação da sua estrutura (COSTA, 2007).

Os compósitos são materiais formados por pelo menos duas fases ou dois componentes, geralmente uma fase polimérica (matriz) e uma fase de reforço na forma de fibras. A fabricação dos compósitos envolve o processo de laminação e o processo de cura da matriz polimérica. A cura é o processo no qual as propriedades mecânicas dos compósitos podem ser otimizadas, por serem fortemente influenciadas pelas condições de temperatura e pressão durante a polimerização da matriz (AGNELLI, 2002).

A prototipagem rápida é um ramo da manufatura relacionada à remoção ou à deposição de material na construção de um sólido. Um dos métodos de prototipagem que aplica a deposição de material é a impressão 3D com líquido infiltrante. Por este método, fabrica-se modelos em três dimensões por meio da deposição de sucessivas camadas. O modelo também deve passar por um processo de descanso, desumidificação e cura. A resistência final do modelo é alcançada com a aplicação de um líquido infiltrante. A duração dos processos de desumidificação e cura é fortemente influenciada pelas condições de temperatura e pressão durante os respectivos processos (IMPENS, 2015).

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento e a fabricação de uma estufa de secagem para atender às demandas do Laboratório de Processos Avançados de Manufatura da Universidade Federal de Minas Gerais - LEPAM/UFMG. Especificamente, o equipamento será empregado na cura de corpos de prova fabricados por laminação com fibras naturais, buscando otimizar as propriedades mecânicas e na redução da duração dos processos de desumidificação e cura de corpos de prova fabricados por impressão 3D com líquido infiltrante.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Compósitos

Rubio et al (2007), destacam a importância da evolução dos materiais compósitos e, de uma maneira geral, pode-se declarar um compósito como sendo qualquer material polifásico que

apresenta uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, adquirindo assim um melhor arranjo de propriedades.

Nesta mesma linha, Carneiro (2008) define os compósitos como materiais que possuem uma estrutura constituída por uma combinação de dois ou mais produtos não solúveis entre si, sendo um definido como reforço e o outro como matriz. Os materiais de reforço devem possuir resistência, rigidez e maleabilidade, o que é geralmente encontrado nas fibras. Sua função é suportar as cargas máximas e impedir que as deformações ultrapassem limites aceitáveis. O componente matricial é quase sempre um polímero orgânico, termoplástico ou termorrígido. Sua função é manter a orientação das fibras e seu espaçamento, distribuir os esforços entre as camadas de fibras e proteger as fibras de danos superficiais (MANO,1991).

Segundo Cállister (1999), os materiais compósitos podem ser considerados materiais multifásicos e são classificados de acordo com o reforço: os compósitos reforçados com partículas, os compósitos reforçados com fibras e os compósitos estruturais.

Leitão (2007) destaca que diversos materiais podem ser utilizados como reforços nos compósitos poliméricos, dentre eles estão incluídas as fibras de vidro, carbono e aramida, como também as fibras naturais. As fibras de vidro são os principais reforços utilizados em compósitos poliméricos por oferecerem uma boa combinação de resistência, rigidez e custo.

Para que as fibras sintéticas ou naturais possam ser utilizadas como reforços nos compósitos é necessário aplicar resina epóxi, sendo que esta necessita de um local com temperatura e pressão controladas para que a cura seja homogênea.

De acordo com Carneiro (2008), a principal função das resinas é a união e o envolvimento das fibras, alterando a sua estrutura para otimizar as propriedades mecânicas e a resistência à umidade. Mano (1991) salientou que as resinas epoxídicas são compatíveis com todas as fibras e são geralmente aplicadas em compósitos de alto desempenho. Os compósitos são usados principalmente em produtos mecânicos de precisão, automobilísticos, aeronáuticos, aeroespaciais, óticos, médicos e esportivos.

Capella et al, (2012) considera que as resinas epoxídicas podem ser classificadas como termorrígidas de alto desempenho, que possuem uma variedade de aplicações como: laminação, adesivos, selantes, tintas, vernizes, entre outras aplicações.

Mano (1991) enfatiza que os plásticos de engenharia são polímeros que possuem várias aplicações na engenharia em substituição à materiais clássicos, como os metais, na fabricação de engrenagens e peças estruturais. As resinas termorrígidas como as epoxídicas, fenólicas, ureicas e melamínicas, também são classificadas como plásticos de engenharia.

2.2 Impressão 3D Com Líquido Infiltrante

A prototipagem por impressão 3D foi desenvolvida pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts. As peças que foram fabricadas por esse processo eram muito quebradiças. A construção de uma peça 3D impressa é conseguida pela combinação de várias camadas de material em pó unidas por um ligante (UPCRAFT e FLETCHER, 2003).

O procedimento combina as tecnologias de prototipagem rápida de deposição em camadas e a impressão com jato de tinta convencional. Uma cabeça de impressão imprime uma camada de fluido ligante sobre uma fina camada de pó, alternando as camadas até completar o modelo 3D. Após a impressão, os modelos passam por um processo de desumidificação de

aproximadamente 12 horas e em seguida, para maximizar a resistência, o modelo é mergulhado no infiltrante que precisa de 7 dias para curar (GALETA, 2013).

Os modelos produzidos com impressão 3D não são tão fortes como os modelos obtidos por outros tipos de tecnologias de prototipagem rápida. Diversos autores enfatizaram a questão da resistência em suas pesquisas. Pilipovi et al (2009), compararam as propriedades de amostras feitas com dois procedimentos de prototipagem rápida (RP) semelhantes: As amostras produzidas por impressão 3D possuíam padrões inferiores aos das amostras produzidas com o procedimento híbrido PolyJet.

3. Materiais e Métodos

Inicialmente, as dimensões da estufa foram definidas de acordo com o tamanho dos corpos de prova a serem curados. Em seguida, a faixa de operação da estufa foi definida com um limite superior de pressão de 2,0 bar e uma temperatura de 120 °C. Esta faixa inclui as condições de pressão e temperatura para a cura dos materiais.

Depois de definir os parâmetros de trabalho e as dimensões da estufa, optou-se por utilizar um recipiente de gás GLP de 13 kg (P13), que atende às exigências de resistência mecânica e dimensionais, eliminando a necessidade de fabricação do vaso de pressão. Segundo a ABNT NBR8460:2011, a pressão de ruptura do P13 é de 85 bar, portanto, o botijão suportará as condições de trabalho com segurança.

O passo seguinte foi a elaboração do projeto usando o Solidworks. O desenho em 3D da estufa está ilustrado na figura 1.



Figura 1– Desenho da estufa de secagem

A janela de acesso foi projetada com um formato elíptico e aberta no fundo do botijão, conforme pode ser observado na figura 2.



Figura 2 – Janela de acesso

O sistema de fechamento utilizado é similar ao de uma panela de pressão. A tampa foi fabricada em aço carbono com um canal onde um anel de silicone é alojado, conforme ilustrado na figura 3.

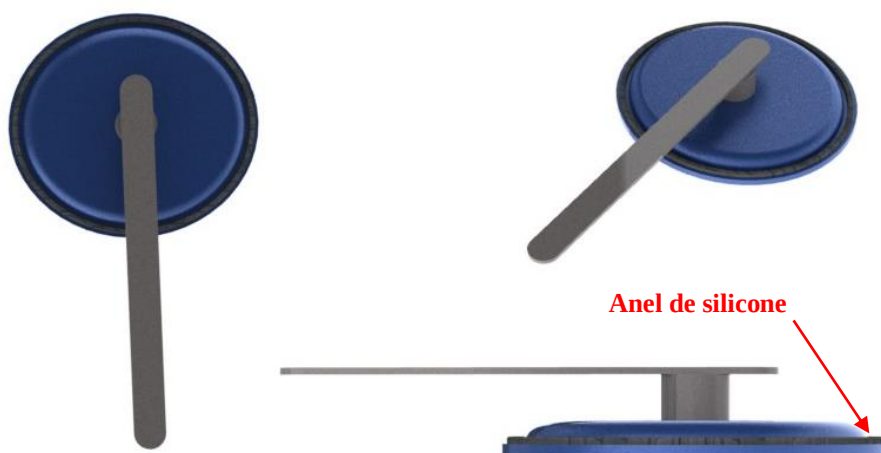


Figura 3 – Tampa da estufa

O sistema de pressurização é composto por um engate rápido quick stop, uma torneira de 1/4" para alta pressão da marca Lumegás, um manômetro da marca Carbo com faixa de medição de 0 a 7,0 bar e resolução de 0,1 bar, 2 metros de mangueira pneumática de 6 mm e um regulador de pressão da marca Werk Schott. Os componentes do sistema de pressurização estão ilustrados na figura 4.

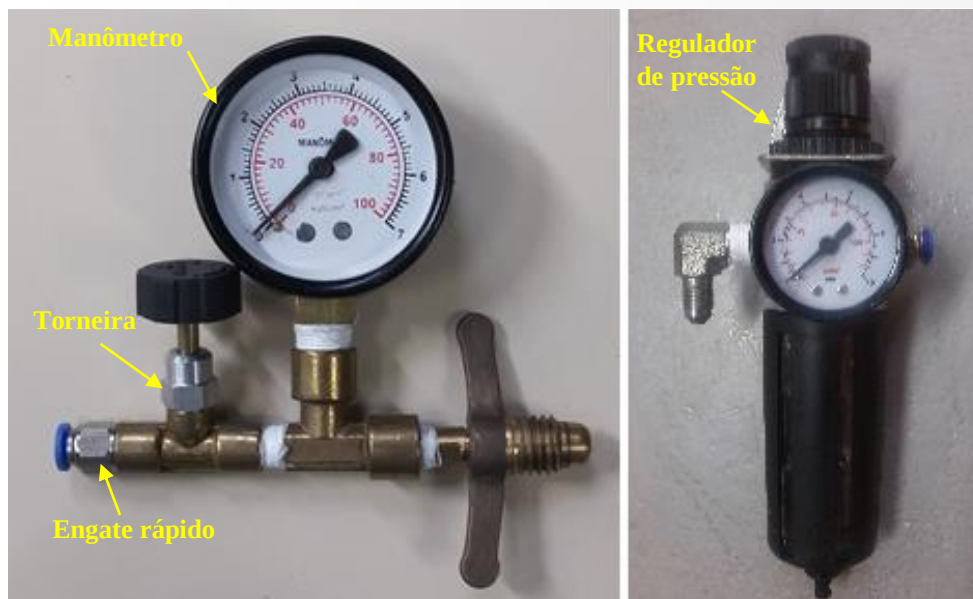


Figura 4 – Componentes do sistema de pressurização

Depois de executar a montagem de todos os componentes do sistema de pressurização, os testes de estanqueidade foram executados com a aplicação de uma pressão de 2,0 bar durante duas horas e a verificação da integridade das vedações. O equipamento e as conexões foram verificadas e não apresentaram vazamentos. O sistema de pressurização está ilustrado na figura 5.



Figura 5 – Sistema de pressurização

Em seguida, os resistores elétricos de 110V/300W foram selecionados para compor o sistema de controle de temperatura da estufa de secagem. Os suportes para fixação dos resistores foram fabricados com cantoneiras de 25 mm x 25 mm x 1/8" de 200 mm de comprimento e foram feitos furos de 8 mm de diâmetro nas extremidades dos suportes para encaixar os

resistores. Um dos suportes foi fixado na estufa por meio de soldagem (suporte fixo) e o outro foi fixado por parafuso (suporte móvel). Os resistores montados nos suportes podem ser observados na figura 6.

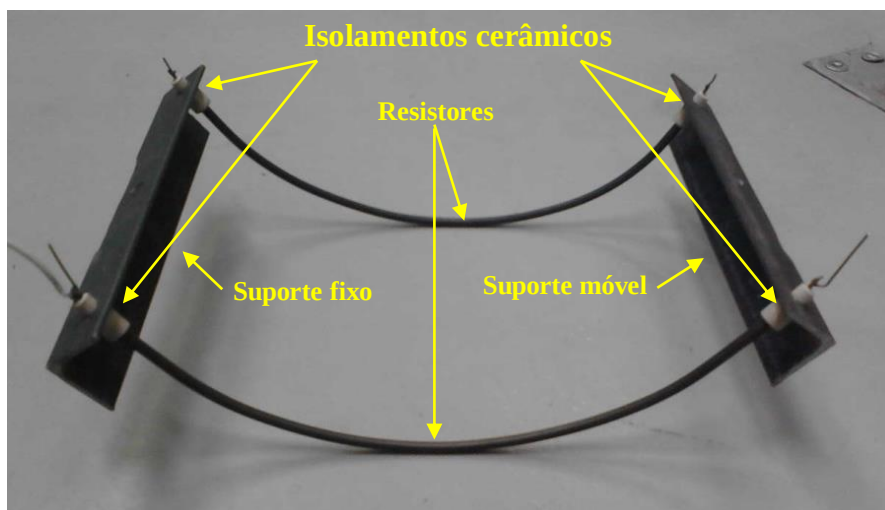


Figura 6 – Suportes, resistores elétricos e isoladores

O desenho da estufa completa com a tampa, os resistores e a grelha está ilustrado na figura 7.

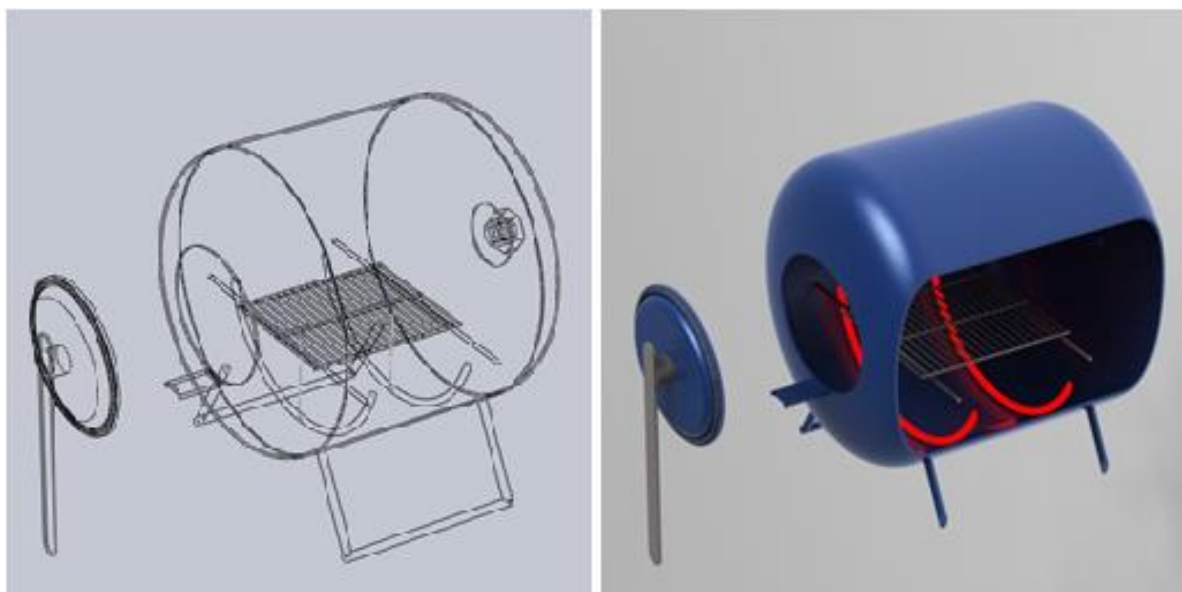


Figura 7 – Desenho esquemático da estufa completa

Para fazer a instalação elétrica interna da estufa, utilizou-se fios com isolamento térmico que suportam até 400 °C e em seguida executou-se o primeiro teste de aquecimento. A temperatura atingida ficou em torno dos 100 °C. Depois do teste de aquecimento, iniciou-se a seleção e aquisição do termostato para controle da temperatura. O equipamento selecionado foi o termostato de controle digital da Willhi modelo WH7016 de 110 V.

Para instalar o termopar e a alimentação dos resistores, foi necessário passar os fios por furos feitos na parte superior da parede da estufa e fazer a vedação adequada usando uma resina epóxi para alta temperatura. As instalações do termostato, da alimentação dos resistores e do termopar estão ilustradas na figura 8.



Figura 8 – Instalação do termostato, da alimentação dos resistores e do termopar

Em seguida, foram executados testes de controle de temperatura aplicando uma pressão de 2,0 bar à uma temperatura de 110 °C durante 2 horas. Este teste foi realizado diversas vezes, sempre com o monitoramento do funcionamento do termostato e com a verificação da estanqueidade da estufa. A estufa de secagem completa está ilustrada na figura 9.



Figura 9 – Estufa de secagem de compósitos

4. Considerações Finais

Por meio da pesquisa e dos dados levantados foi possível o desenvolvimento e construção de uma estufa de secagem adaptada a partir de um vasilhame P13. O projeto foi dimensionado e construído para atender aos trabalhos relacionados aos estudos das propriedades mecânicas dos compósitos e aos trabalhos relacionados à produção de protótipos por impressão 3D com líquido infiltrante, desenvolvidos no LEPAM/UFMG. Ressalta-se que, por restrição de tempo, não foi possível a realização de testes de processamento de corpos de prova, contudo, testes futuros serão realizados para avaliar o desempenho da estufa.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8460:2011 – Recipientes transportáveis de aço para gás liquefeito de petróleo (GLP) – Requisitos e métodos de ensaios.

AGNELLI, JOSÉ A. MARCONDES. *Glossário de Termos Aplicados à Polímeros*. 2002. Disponível em <http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Glossario_de_termos_aplicados_a_polimeros.pdf>. Acesso em: 20/07/2015.

CALLISTER, WILLIAM D. JR. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. Quinta edição LTC – SaltLakeCity, Utah, Janeiro de 1999.

CAPELLA, M. C.; SOUFEN, C. A.; CORREIA, G. V.; GRIZOLA, O. S.; PINTÃO C. A. F.; IMAIZUMI, M. *Propriedades Mecânicas em Laminados de Fibras de Vidro e Carbono em Resina Epóxi*. Departamento de Engenharia Mecânica - Unesp - Bauru SP, 2012.

CARNEIRO, L. A.; TEIXEIRA, A. M. *Propriedades e Características dos Materiais Compósitos Poliméricos Aplicados na Engenharia de Construção*. Rio de Janeiro, 2008.

COSTA, ENIO CRUZ. *Secagem Industrial*. Editora Blücher, São Paulo, 2007.

GALETA T., Kladaric I., Karakasic M. *Influence of Processing Factors on the Tensile Strength of 3D-Printed Models*. Materials and technology 47 (2013) 6, 781–788. ISSN 1580-2949.

IMPENS, DAVID. *An Experimental Approach to Assess the Impact of Post Processing Variables on the Mechanical Characteristics of 3D Printed (Powder Binding Process) Parts*. 2015. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Applied Science, Department Of Mechanical, Automotive, And Materials Engineering, University Of Windsor, Windsor, Ontario, Canada, 2015.

LEITÃO, EDUARDO. *Caracterização Mecânica de Compósitos Poliméricos Bobinados em Diversas Orientações do Reforço* - São Paulo, 2007.

MANO, ELOISA BIASOTTO. *Polímeros como Materiais de Engenharia*. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo, 1991.

PILIPOVIC, A., RAOS, P., & ŠERCER, M. (2009). *Experimental analysis of properties of materials for rapid prototyping*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40(1-2), 105–115. doi:10.1007/s00170-007-1310-7.

RUBIO, JUAN C. CAMPOS; FARIA, PAULO E; J. PAULO DAVI M.. *Furação de materiais compósitos laminados: Análise digital de dano na furação de materiais compósitos laminados*. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/ctm/v19n1-2/19n1-2a05.pdf>>. Acesso em: 24/07/2015.

UPCRAFT, S., & FLETCHER, R. (2003). *The rapid prototyping technologies*. Assembly Automation, 23(4), 318–330.