

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

PROCESSO DE CONFORMAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM LIGAS METÁLICAS NiTi VIA TÉCNICA RTM: SIMULAÇÃO VIA CFD

Stephane Katherine Barbosa Moura da Silva, katherine.b.moura@gmail.com¹

Carlos José de Araújo, carlos.araujo@ufcg.edu.br²

Antonio Gilson Barbosa de Lima, antonio.gilson@ufcg.edu.br²

Tony Herbert Freire Andrade, tonyherbert2000@hotmail.com²

¹Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia de Materiais, Av. Aprígio Veloso, 882, Bairro: Bodocongó, CEP:58429-900, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

²Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Aprígio Veloso, 882, Bairro: Bodocongó, CEP:58429-900, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Resumo: Compósitos são materiais com ampla aplicabilidade em diversos setores industriais. Os compósitos poliméricos reforçados com ligas metálicas têm despertado grande interesse da academia e indústria devido às suas elevadas propriedades mecânicas. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar numericamente o processo de conformação mecânica transiente de compósitos poliméricos reforçados com ligas metálicas NiTi via técnica RTM com o auxílio do software Ansys CFX®. A modelagem matemática é constituída das equações de conservação de massa e quantidade de movimento, aplicadas a um molde metálico tridimensional ($0,3 \times 0,3 \times 0,002$ m³) contendo dez fios de liga NiTi com 0,0005 m de diâmetro. Resultados da posição de frente de avanço da resina, linhas de fluxo, campos de pressão e de velocidade ao longo do processo, são apresentados e analisados.

Palavras-chave: compósitos, ligas metálicas, RTM, simulação, CFX.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia industrial somado a necessidade de materiais cada vez mais resistentes, leves e com altas propriedades, promove inúmeras pesquisas no campo dos materiais compósitos.

De acordo com Callister Jr. (2002), as combinações e as faixas das propriedades dos materiais foram, e ainda estão sendo ampliadas através do desenvolvimento de materiais compósitos. De maneira geral, pode-se considerar o compósito como sendo qualquer material multifásico que contém uma proporção significativa de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades. Estes materiais podem ser selecionados para resultar em combinações incomuns de rigidez, resistência mecânica, peso, desempenho em altas temperaturas, resistência à corrosão, dureza ou condutividade. Os compósitos podem apresentar algumas propriedades superiores às dos seus componentes individualmente, isto é, atuam com sinergia (Askeland e Phulé, 2008). Muitos materiais compósitos são compostos apenas por duas fases; uma é chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada frequentemente de reforço (Callister Jr., 2002).

Indústrias como as automotivas e aeronáuticas, voltam-se cada vez mais para o desenvolvimento de materiais compósitos que combinem as boas propriedades com baixa densidade a fim de aprimorar o desempenho de seus produtos, dando-lhes novas aplicabilidades. Assim, a conformação desses materiais têm um papel relevante.

Dentre as diversas técnicas de conformação de um compósito, o processo de moldagem por transferência de resina (RTM) têm ganhado destaque em relação aos outros processos de fabricação. O processo via RTM é relativamente novo, atrativo e com elevado potencial para aplicações em automação, aeronáutica e indústrias aeroespaciais (Brocks, 2011). É um método que vem ganhando bastante espaço no mercado e tornando-se de grande interesse para a indústria devido ao menor custo de produção, uniformidade das características mecânicas e bom acabamento superficial das peças obtidas (Fontoura, 2005; Amorim, 2007). Segundo Flaminio et al. (2006), esta técnica de conformação consiste

na injeção de uma resina termorrígida em um molde fechado onde uma pré-forma foi previamente colocada. Este molde, deve possuir pelo menos uma entrada, para a injeção da resina, e uma saída, para permitir, durante a injeção da resina, a saída do ar existente no interior do molde (Luz, 2011).

Nas últimas décadas os materiais compósitos ganharam muita visibilidade devido à sua extensa aplicabilidade em diversos setores industriais, concomitantemente, alguns materiais metálicos, em especial as ligas com memória de forma, também vêm ganhando visibilidade devido às suas propriedades provenientes das transformações de fase que ocorrem na liga.

Lima et al. (2005) definem ligas com memória de forma (LMFs) como materiais metálicos especiais que possuem a surpreendente capacidade de recuperar uma deformação plástica ou “aparentemente elástica” por intermédio de um aquecimento subsequente acima de uma temperatura crítica. Este fenômeno aparece devido as transformações de fase induzidas no material. Esse comportamento é chamado Efeito de Memória de Forma (EMF) e ocorre devido a uma transformação de fase no estado sólido, do tipo martensítica, cristalograficamente reversível (Otsuka e Wayman, 1998). Em altas temperaturas têm-se a fase austenita (mais rígida), enquanto que, resfriando-se o material, a fase martensita (menos rígida) aparece gradualmente (Silva et al., 2006).

A combinação entre materiais poliméricos e ligas com memória de forma produzem o que pode-se chamar de materiais inteligentes. O intenso uso de compósitos convencionais de matriz polimérica permitiu durante as últimas décadas, o desenvolvimento de compósitos inteligentes com ligas com memória de forma embebidos. À medida que se estabeleceu a fabricação e comercialização de fios com ligas com memória de forma, tornou-se possível a sua combinação com compósitos (Castilho, 2008; Faluhelyi, 2013). A obtenção desses materiais inteligentes permite um conjunto de novas oportunidades e de inovação tecnológica, uma vez que a necessidade de materiais mais resistentes, mais leves e, sobretudo, com algum grau de funcionalidade controlada por parâmetros ambientais como campos de temperatura e magnetismo, pode se tornar uma realidade industrial em um futuro próximo (Leal, 2015).

O intenso avanço, seja industrial ou de desenvolvimento de resinas, impulsiona pesquisas que visam o aprimoramento da aplicação da técnica RTM, de modo que se obtenha estruturas com propriedades cada vez mais superiores. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo estudar numericamente o processo de conformação mecânica de compósitos poliméricos reforçados com ligas metálicas NiTi via técnica RTM com o auxílio do software comercial Ansys CFX®.

2. METODOLOGIA

2.1 Problema Físico

O domínio de estudo consiste em um molde metálico tridimensional ($0,3 \times 0,3 \times 0,002 \text{ m}^3$), onde dez fios de NiTi, com 0,0005 m de diâmetro, foram inseridos no molde, divididos em dois grupos de cinco fios equidistantes, posicionados à direita e à esquerda da entrada do molde. A entrada para injeção de resina no molde, localiza-se no centro da face inferior enquanto na face superior, localiza-se quatro saídas cada qual com diâmetro de 0,004567 m. As Figs. 1 e 2 ilustram a vista tridimensional do molde metálico e a disposição dos fios ao longo do mesmo.

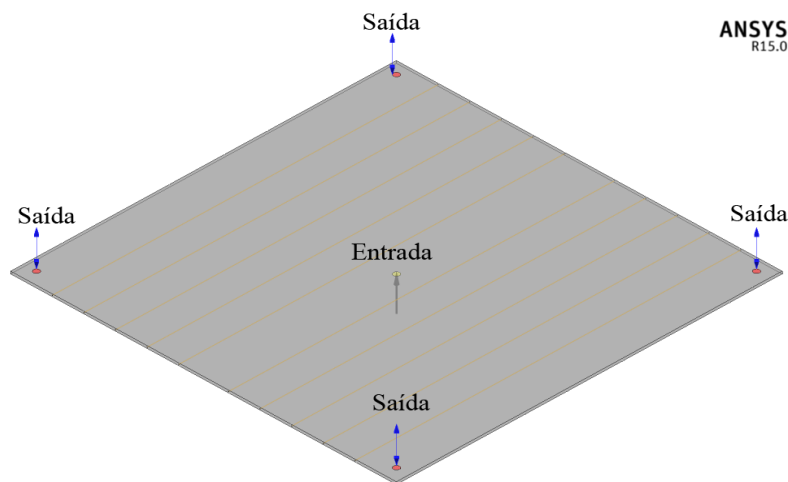


Figura 1. Vista tridimensional do molde metálico com os fios NiTi posicionados ao longo da placa.

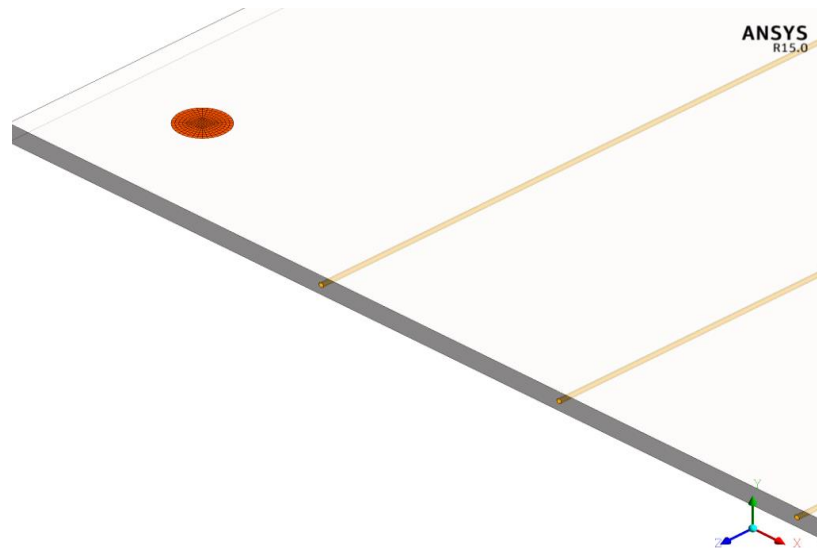


Figura 2: Detalhes de uma das saídas e disposição dos fios ao longo do molde.

2.2 Malha Numérica

De acordo com Leal et al., para a análise numérica do processo de injeção da resina no molde, é necessário que o domínio de estudo seja transformado em um conjunto de elementos. Esse número de elementos pode ser chamado malha numérica. Para esta pesquisa, a malha numérica foi desenvolvida a partir da geometria do molde metálico já obtida no software comercial ANSYS CFX, onde utilizou-se o método de blocagem. A malha gerada foi refinada nas regiões de interesse que são: as saídas, a entrada e próximo as paredes dos fios. O propósito desse refinamento, ou seja, do aumento de elementos nessas áreas, é o de se obter os resultados numéricos mais exatos possíveis. A malha final, após o refinamento, possui 590265 elementos e 672832 nós. A Fig. 3 ilustra o refinamento realizado na entrada e em uma das saídas do molde.

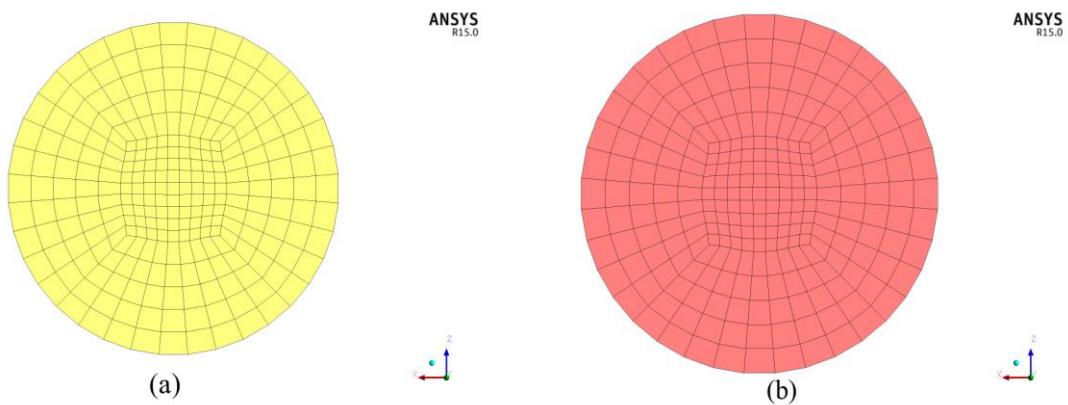


Figura 3: Detalhes do refinamento realizado na (a) entrada e (b) saída do molde.

2.3 Modelagem Matemática

As equações básicas que descrevem os fenômenos relacionados com escoamento de fluidos são definidas pelas leis físicas de conservação de massa e de quantidade de movimento.

Para modelar o escoamento multifásico em três dimensões, as seguintes equações são fundamentais:

- Equação da Continuidade:

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_{\alpha}\rho_{\alpha}) + \nabla \cdot (r_{\alpha}\rho_{\alpha} \vec{U}_{\alpha}) = S_{MS\alpha} + \sum_{\beta=1}^{N_p} \Gamma_{\alpha\beta} \quad (1)$$

- Equação de Quantidade de Movimento:

$$\frac{\partial}{\partial t} (r_\alpha \rho_\alpha \bar{U}_\alpha) + \nabla \cdot [r_\alpha (\rho_\alpha \bar{U}_\alpha \otimes \bar{U}_\alpha)] = -r_\alpha \nabla p_\alpha + \nabla \cdot \left\{ r_\alpha \mu_\alpha \left[\nabla \bar{U}_\alpha + (\nabla \bar{U}_\alpha)^T \right] \right\} + \sum (\Gamma_{\alpha\beta}^+ \bar{U}_\alpha - \Gamma_{\beta\alpha}^+ \bar{U}_\beta) + \bar{S}_{M\alpha} + \bar{M}_\alpha \quad (2)$$

onde, segundo Araújo (2015), o subíndice α é o indicador de fase no escoamento bifásico resina-ar, f , ρ , μ e U são respectivamente, fração volumétrica, densidade, viscosidade dinâmica e o vetor velocidade, e p é pressão, $\bar{S}_{M\alpha}$ representa o termo das forças externas que atuam sobre o sistema por unidade de volume. No termo referente a transferência de momento induzida pela transferência de massa interfacial (terceiro termo do lado direito da igualdade), os subíndices α e β correspondem as fases envolvidas. Γ^+ corresponde à taxa de fluxo mássico por unidade de volume da fase β para a fase α vice-versa, $\bar{M}_\alpha$ descreve a força total por unidade de volume (força de arraste interfacial, força de sustentação, força de lubrificação de parede, força de massa virtual e força de dispersão turbulenta) sobre a fase α devido à interação com a fase β .

2.4 Condições Iniciais e de Contorno

Antes de iniciar o processo de injeção da resina, o molde encontrava-se preenchido com ar. Na entrada do molde, será injetada resina polimérica com uma concentração de uma carga mineral de CaCO_3 (Carbonato de Cálcio). Nas quatro saídas localizadas na superfície oposta à da entrada do molde, haverá o escoamento do ar presente no interior do molde a medida que a resina invade o seu interior, até preenchê-lo completamente. A fim de completar a modelagem matemática, as seguintes condições de contorno foram adotadas:

- Na seção de entrada do molde, admitiu-se velocidade superficial de 0,5 m/s e fração volumétrica igual à 1,0 para a resina polimérica (com a adição de CaCO_3), e 0,0 para o ar;
- Adotou-se a condição de parede para as partes lateral, superior e inferior do molde (não incluindo a entrada e as saídas do molde);
- Os fios da liga NiTi foram estudados como um domínio sólido presente no interior do molde, sendo a cavidade do molde considerado um domínio de fluido contínuo devido ao volume residual entre o volume total do molde e o volume ocupado pelos fios não ser pequeno suficiente para caracterizar um volume poroso.

2.5 Caso Estudado

O estudo consistiu em avaliar a frente de avanço da resina no molde, de modo que o molde seja preenchido completamente. Com este propósito, estudou-se uma resina com concentração de 20% de carga mineral (CaCO_3). A Tab. (1) apresenta as propriedades físicas utilizadas na simulação.

Tabela 1. Parâmetros físicos da resina poliéster contendo carbonato de cálcio (Oliveira, 2014).

Propriedades da Resina	Unidade	Valores
Viscosidade	cP	1414
Densidade	g/cm ³	1,32
Fração de CaCO_3	%	20
Temperatura	°C	25

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Campos de Fração Volumétrica

A avaliação dos campos de fração volumétrica é ideal para se identificar o completo preenchimento do molde pela resina e consequentemente a possível ocorrência de bolhas de ar ou formação indesejada do compósito em estudo. Ao se trabalhar com regime transiente, é possível avaliar a forma como a resina avança no interior do molde, o que pode auxiliar tanto na conformação do molde, como num possível ajuste volumétrico, a fim de otimizar o processo de moldagem, ou mesmo no ajuste de parâmetros de entrada do processo, tais como temperatura, pressão ou velocidade de injeção da resina. A Fig. 4 exibe o avanço da resina no interior do molde. No caso estudado, registra-se um frame a cada 5 segundos do preenchimento. É possível verificar que o escoamento da resina no interior do molde apresenta um comportamento radial, devido exclusivamente ao sistema de injeção. A resina avança no molde até encontrar as paredes

laterais de onde escoa em direção às saídas. Entre 20 e 25 segundos, a resina rapidamente preenche o molde quase em sua totalidade. A presença dos fios afeta o comportamento da frente de avanço da resina, gerando pequenas ondulações na mesma.

A Fig. 5 ilustra a fração volumétrica da resina ao longo da direção vertical do molde, em três planos localizados em $Y=0,000$ m; $0,001$ m e $0,002$ m no instante de 40 s, do processo. Verifica-se após análise da figura que a presença dos fios dispostos ao longo do molde provoca uma dificuldade adicional ao escoamento da resina de tal forma que ocorre o aprisionamento do ar no interior do molde, principalmente no plano superficial superior, o que é indesejável. A presença de bolhas de ar no compósito pós-cura gera defeitos que reduzem as propriedades mecânicas do material. Estes resultados não seriam possíveis de serem observados em um estudo bidimensional. No instante $t=40$ s têm-se um fluxo mássico de resina na entrada e na saída do molde, de $0,010843$ kg/s e $0,010742$ kg/s, respectivamente.

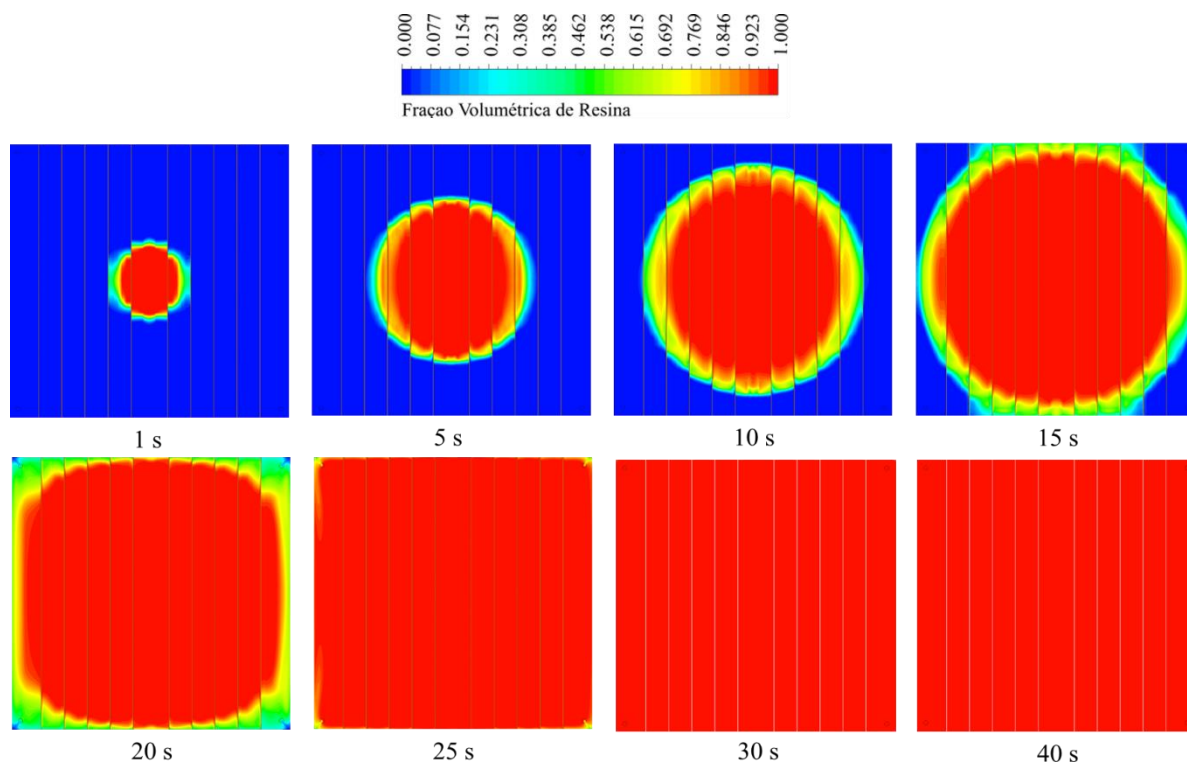


Figura 4: Avanço da resina no molde durante o processo de injeção no plano $Y=0,001$ m.

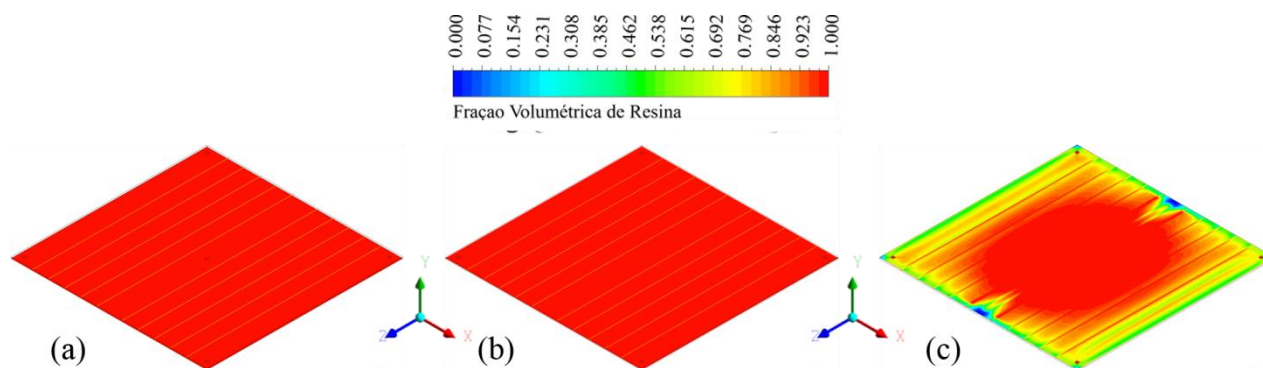


Figura 5: Distribuição da fração volumétrica da resina nos planos em $t=40$ s, (a) $Y=0,000$ m, (b) $Y=0,001$ m, (c) $Y=0,002$ m.

A velocidade de avanço da resina é um importante parâmetro para a realização da moldagem via técnica RTM. Um processo de injeção com baixa velocidade deve ser tanto quanto possível utilizado para permitir a saída do ar completamente do interior do molde e produzir peças isentas de defeitos.

Segundo Fox e McDonald (2001), o método de avaliação da velocidade de avanço da resina no interior do molde é através das linhas de fluxo que indicam o caminho percorrido pelas partículas de fluido. A Fig. 6 ilustra as linhas de fluxo em diferentes tempos do processo de injeção. Verifica-se, após análise dessa figura que, em $t=1$ s (primeiro

frame), a resina ainda não havia encontrado as paredes do molde, por isso, é possível observar de forma clara a região de fluxo laminar da resina e a região de fluxo de ar. Depois de 5 segundos (segundo frame), é notório que a resina adota um comportamento radial e linear, devido ao avanço da resina para dentro do molde, o que provoca a saída do ar. No terceiro quadro as linhas de corrente são dispostas de modo muito semelhante ao segundo quadro. No quarto quadro, molde foi preenchido, e as linhas de fluxo adotaram o seu comportamento final (estado estacionário), nascendo na entrada do molde e finalizando nas suas saídas de forma simétrica, verifica-se ainda, na parte central e próxima a parede do molde, região sem movimento de fluido. Esta região é propícia para o acúmulo de ar e geração de defeitos pós-cura.

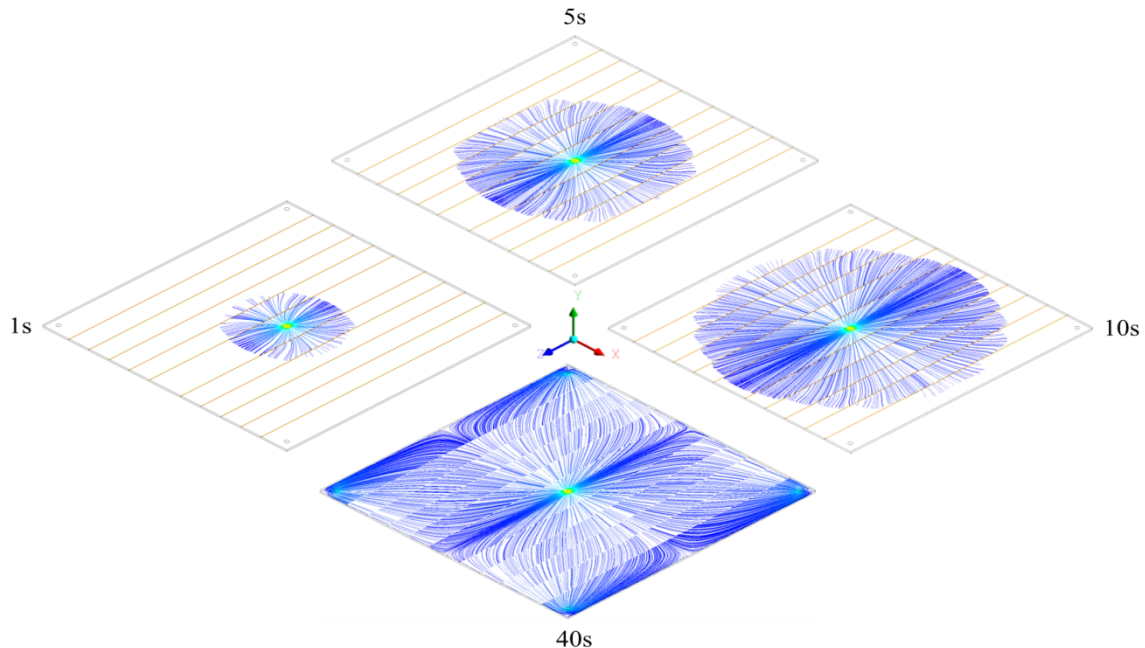


Figura 6: Linhas de fluxo em diferentes tempos de preenchimento do molde.

A Fig. 7 ilustra as linhas de corrente próximo a entrada do molde e, sobre os fios no entorno dessa região. A Fig. 8 mostra o mesmo resultado na forma de um campo vetorial no molde. Percebe-se que na entrada do molde, a resina flui inicialmente na direção vertical para em seguida, deslocar-se horizontalmente. Na direção horizontal, a resina escoar em torno dos fios, com um comportamento simétrico e aproximadamente de um escoamento potencial (livre atrito). Isto é devido à baixa velocidade da resina nessa região, e que ficou abaixo de 0,1 m/s.

Analisando o escoamento ao redor dos fios, pode-se fazer alguns comentários fundamentais:

a) O fluido (resina) na corrente fica em repouso no ponto de estagnação frontal, o que acarreta numa elevação de temperatura local;

b) Do ponto de estagnação (ponto de velocidade nula), a pressão diminui ao longo da superfície do fio e na direção perpendicular à direção radial, o que proporciona um desenvolvimento da camada limite sob o efeito de um gradiente de pressão favorável (a velocidade tangencial aumenta), até atingir um valor mínimo (velocidade tangencial máxima). A partir deste ponto, a camada limite se desenvolve na presença de um gradiente de pressão desfavorável proporcionando uma desaceleração da resina (a velocidade tangencial diminui);

c) O escoamento ao redor dos fios influencia fortemente a força de arraste que atua no mesmo e na direção do escoamento. Essa força é composta de duas componentes: uma devida a tensão de cisalhamento no fluido, na superfície do fio, denominado arraste viscoso, e outra devido a variação de pressão ao longo da superfície do fio, responsável pela formação da esteira na face traseira do fio, denominado arraste de forma ou de pressão.

3.2 Variação da Pressão de Injeção

A pressão é um parâmetro essencial durante o processo de moldagem por transferência de resina. Embora este seja um parâmetro de entrada comum no processo de RTM, decidiu-se escolher no presente estudo uma velocidade de entrada como condição de contorno. A avaliação da pressão de entrada, permite a obtenção de uma curva deste parâmetro ao longo do tempo, onde é possível determinar a pressão de injeção em uma situação real. A Fig. 9 mostra a curva de pressão na entrada do molde como uma função do tempo de enchimento do mesmo pela resina.

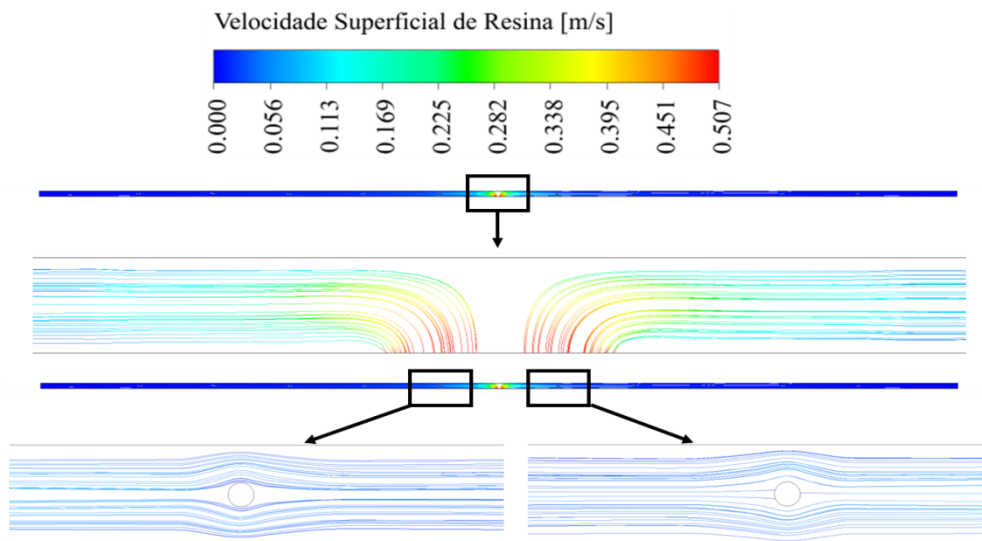


Figura 7: Linhas de corrente próximas a entrada do molde.

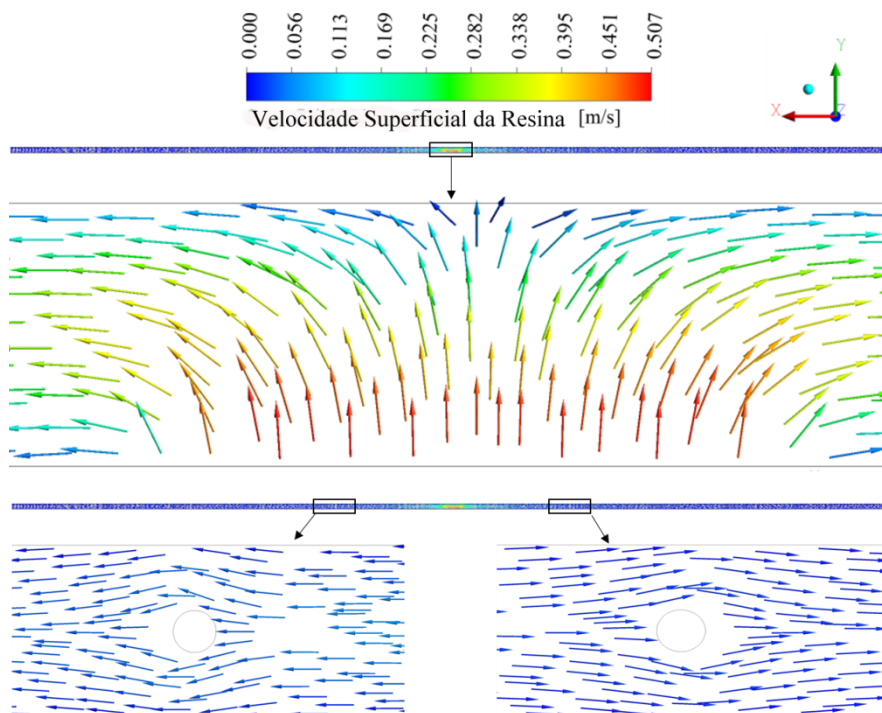


Figura 8: Campo vetorial de velocidade na entrada do molde.

A partir da análise da pressão ao longo do tempo, nota-se um aumento contínuo neste parâmetro provocado pela quantidade de resina dentro do molde, que aumenta com o tempo, o que dificulta o avanço da resina. Após 40 segundos, o processo de injeção alcançou sua condição de estado estacionário ($P = 120,809 \text{ kPa}$).

A Fig. 10 ilustra a distribuição de pressão na superfície dos fios de liga NiTi no instante $t = 40 \text{ s}$. Verifica-se que a maior pressão ocorre nos fios próximos a entrada do molde, com valor de aproximadamente 113674 Pa . É nessa região de máxima pressão, que ocorre a maior ação da força de arraste, que gerará deflexão no fio, ocasionando tensão mecânica e deformação no mesmo, deflexão esta que pode ser, dependendo do tempo de cura e viscosidade da resina, permanente. Isto é, o fio ficará deformado após a solidificação da resina. Assim, recomenda-se cautela com relação ao enchimento do molde contendo fios de liga com memória de forma, especialmente se ele estiver no estado martensítico à baixas temperaturas, onde a mudança de forma pode levar a mudanças na frequência natural de vibração do compósito (Nascimento, 2009; Leal, 2015).

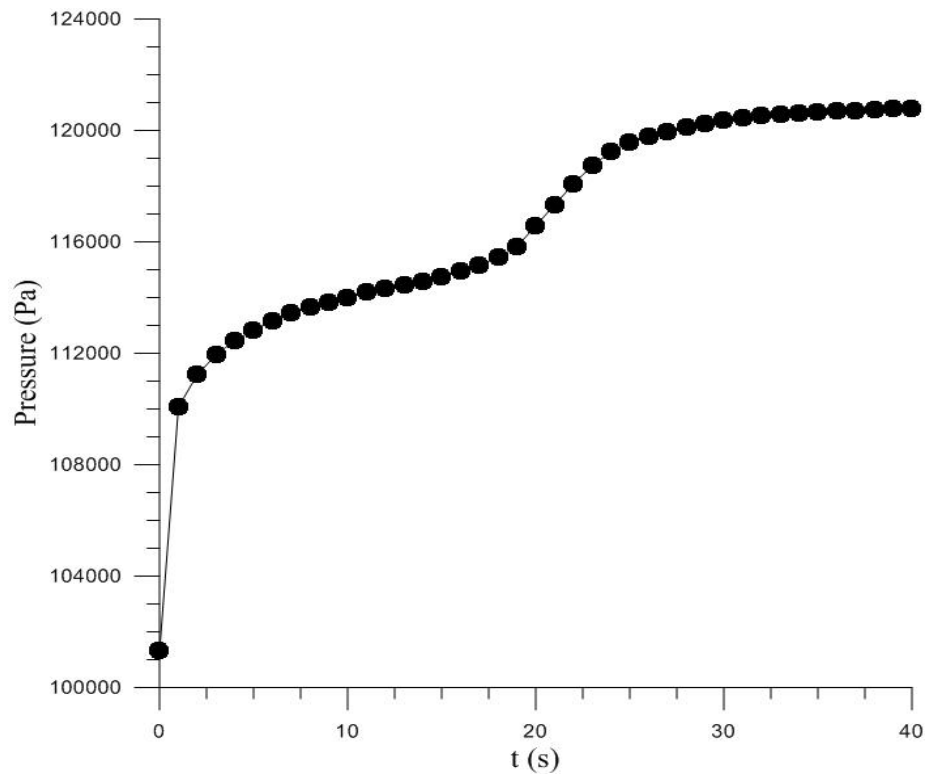


Figura 9: Evolução da pressão na entrada do molde em função do tempo de preenchimento

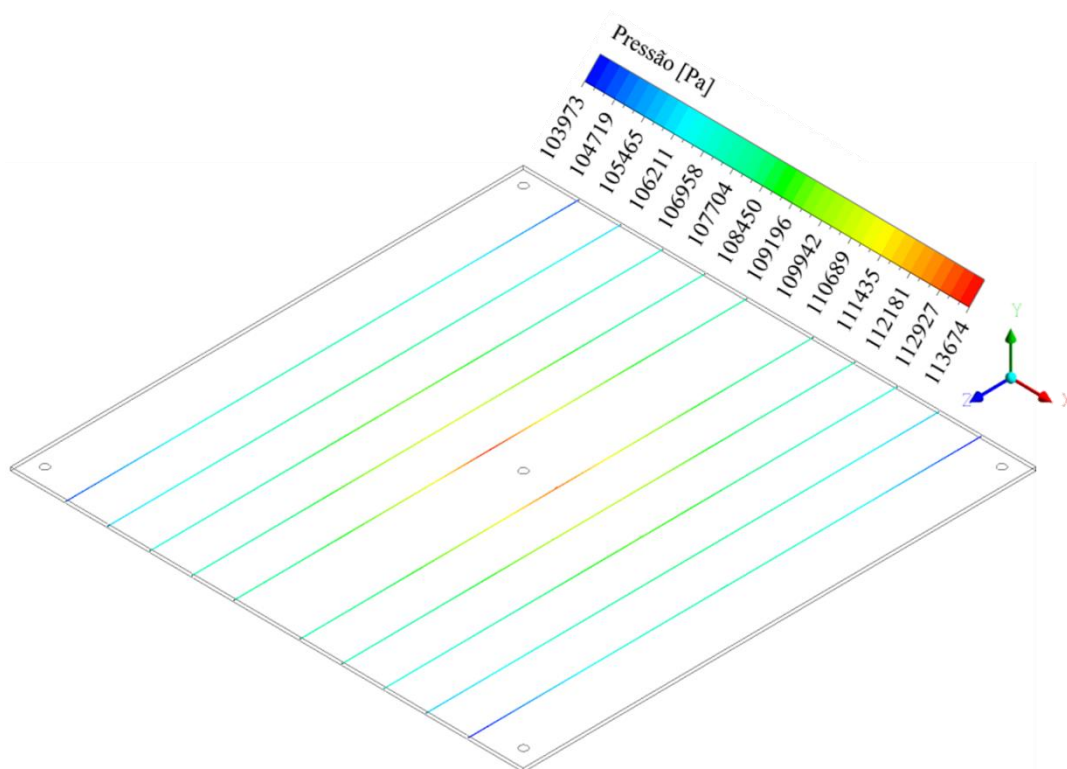


Figura 10: Distribuição de pressão na superfície dos fios de liga NiTi no instante $t=40s$

4 CONCLUSÕES

O caso estudado possui um comportamento fluido dinâmico particular. A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a) A frente de avanço da resina, durante o preenchimento do molde, resultou num comportamento radial. Com a adição de carbonato de cálcio (20%), a resina levou 40 segundos para preencher completamente o molde.
- b) Observou-se que a resina com a adição do mineral teve bastante interação com o ar presente no interior do molde durante o processo de injeção. Esta interação resina-ar resultou em uma baixa qualidade do compósito, já que o mesmo apresentou bolhas de ar em sua superfície.
- c) O aumento na viscosidade da resina causado pela adição de uma taxa de componente mineral conduziu a uma alta pressão de injeção na entrada do molde, o que resultou em pouco tempo para preencher o molde completamente. A pressão aumentou com o tempo de injeção.
- d) As mais altas pressões no fio de liga NiTi foram obtidas na região central e próximo a entrada do molde. Nessa região é que se tem a mais elevada força de arraste nos fios, cuja ação pode deformar o fio produzindo tensões mecânicas no mesmo.
- e) É necessário avaliar experimentalmente o caso estudado, adotando os mais altos valores de pressão de injeção obtidos na entrada do molde, para assim, validar os resultados numericamente.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES, FINEP e INCT pelo apoio financeiro, bem como aos pesquisadores citados neste trabalho que com suas pesquisas contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

- Amorim, W. F. J., 2007, "Processamento de placa espessa de compósito através de moldagem por transferência de resina", Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Araújo, G. S., 2015, "Estudo Numérico do Escoamento Trifásico de Óleo Pesado, Água e Gás em Dutos Horizontal e Vertical via Técnica Core-Flow", 8º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Curitiba.
- Askeland, D. R., Phulé, P. P., 2008, "Essentials of Materials Science and Engineering", Ed. Cengage Learning, São Paulo, p. 525.
- Brocks, T., 2011, "Compósito estrutural carbono/epoxi via RTM para aplicação aeronáutica: processamento e caracterização", Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- Callister Jr., W. D., 2002, "Materials Science and Engineering: An Introduction", John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Castilho, W. S., 2008, "Caracterização termomecânica de compósitos híbridos com memória de forma", Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Faluhelyl, P., 2013, "Fabricação e comportamento termomecânico de compósitos estruturais adaptativos com filamentos de liga NiTi", Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Flamínio, L. N. e Pardini, L. C., 2006, "Structural Composites: Science and Technology", Edgar Blucher, São Paulo.
- Fontoura, C. M., 2005, "Desenvolvimento de hélice de material compósito polimérico utilizando a moldagem por transferência de resina", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Fox, R. W. e McDonald, A. T., 2001, "Introdução à Mecânica dos Fluidos", Ed. LTC, São Paulo.
- Leal, A. S. C., 2015, "Estudo térmico em nanocompósitos epóxi/argila organofílica reforçados com fios NiTi", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil.
- Leal, A. S. C., Silva, S. M. L. e Araújo, C. J., 2012, "Comportamento Termomecânico de Compósitos Ativos Preparados com Nanocompósitos Epóxi/Argila Organofílica e Fios de Liga NiTi com Memória de Forma", Polímeros, Vol. 22, p. 134-141.
- Lima, I. S. T., Silva, N. J. Queiroga, S. L. M. e Araújo, C. J., 2005, "Desenvolvimento e Teste de uma Bancada Experimental Simples para Caracterização Eletromecânica de Fios Atuadores com Memória de Forma", 33º Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Campina Grande, Brasil.
- Luz, F. F., 2011, "Análise comparativa do escoamento de fluido em experimentos RTM utilizando aplicativos comerciais", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Nascimento, R. L. E., 2009, "Produção e caracterização de compósitos inteligentes", Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Oliveira, I. R., 2014, "Infiltração de fluidos carregados em meios porosos via processo RTM: análise teórica e experimental", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil.
- Otsuka, K. e Wayman, C. M., 1998, "Shape Memory Materials", Cambridge University Press, United Kingdom.
- Silva, M. M., Silva N. J., Santos, M. A. e Araújo, C. J., 2006, "Efeito do Reprocessamento por Plasma nas Propriedades Físicas e Mecânicas de uma Liga Cu-Al-Ni com Memória de Forma", 61º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Rio de Janeiro.

7 RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho

MANUFACTURING PROCESS OF POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH NiTi METALLIC ALLOY VIA RTM PROCESS: SIMULATION VIA CFD

Stephane Katherine Barbosa Moura da Silva, katherine.b.moura@gmail.com¹

Carlos José de Araújo, carlos.araujo@ufcg.edu.br²

Antonio Gilson Barbosa de Lima, antonio.gilson@ufcg.edu.br²

Tony Herbert Freire Andrade, tonyherbert2000@hotmail.com²

¹Department of Materials Engineering, Center of Science and Technology, Federal University of Campina Grande, 882 Aprígio Veloso Avenue, Campina Grande, Zip code: 58429-900, Paraíba State, Brazil.

²Department of Mechanical Engineering, Center of Science and Technology, Federal University of Campina Grande, 882 Aprígio Veloso Avenue, Campina Grande, Zip code: 58429-900, Paraíba State, Brazil.

Abstract.: Composites are materials with wide applicability in various industries. The polymer composites reinforced with metal alloys have attracted great interest from academy and industry due to their high mechanical properties. In this context, this paper aims to numerically study the process of transient mechanical manufacturing of polymer composites reinforced with NiTi alloys wires via RTM technique with the help of Ansys CFX® commercial software. The mathematical model consists of mass and momentum equations applied to a three-dimensional metal mold ($0.3 \times 0.3 \times 0.002 \text{ m}^3$) containing ten NiTi alloy wires with 0.0005 m diameter. Results of flow front position of the resin, streamlines, pressure and velocity fields during the process, are presented and analyzed.

Keywords: composites, metallic alloys, RTM, simulation, CFX.

