

Processo de Obtenção de Pré-impregnados Poliméricos Termoplásticos Via Moldagem por Compressão a Quente

Clara L. Nogueira, José M. F. Marlet e Mirabel C. Rezende

Resumo: Os compósitos poliméricos à base de termoplásticos avançados são usados em aplicações estruturais devido à uma combinação favorável de baixa massa específica e desempenho mecânico elevado. Uma das rotas para o processamento desses compósitos é via laminação e consolidação adequadas de pré-impregnados poliméricos termoplásticos. Este trabalho apresenta o estudo da obtenção de pré-impregnados termoplásticos via moldagem por compressão a quente, mostrando os parâmetros temperatura e pressão utilizados no processamento. Como matrizes poliméricas foram utilizadas a poli(éter-éter-cetona), a poli(éter-imida), o poli(sulfeto de fenileno) e a poli(sulfona) e como material de reforço tecido de fibras de carbono.

Palavras-chave: *Compósitos termoplásticos, pré-impregnados, moldagem por compressão a quente, poli(éter-éter-cetona), poli(éter-imida), poli(sulfeto de fenileno), poli(sulfona)*

Introdução

Os compósitos poliméricos podem ser entendidos como sendo a combinação de dois ou mais materiais, quais sejam: elementos de reforço e/ou cargas unidos por uma matriz polimérica, diferindo em forma e/ou composição. Estes componentes retêm suas identidades individuais, podendo ser fisicamente identificados, apresentando porém, uma interface entre eles, o que lhes confere uma atuação em conjunto na aplicação final do compósito^[1]. Quando a combinação do reforço e da matriz polimérica confere ao compósito obtido menores valores de massa específica e

maiores valores de resistência mecânica e rigidez, esses materiais são denominados compósitos poliméricos avançados. Essas características, somadas aos maiores valores de resistência à fadiga e à corrosão, têm permitido uma grande utilização deste tipo de compósito na indústria aeronáutica, atendendo às crescentes exigências em serviço das aeronaves^[2,3].

O universo das possíveis aplicações dos compósitos poliméricos avançados não se restringe somente ao setor aeronáutico, podendo-se mencionar aplicações nas áreas espacial, automobilística, náutica e biomédica. Como exemplos podem ser citados: estruturas de satélites e de veículos lançadores de

satélites, protetores de carter, suportes de assentos, cascos de embarcações e próteses ortopédicas, entre outros^[4,5].

Os compósitos poliméricos termoplásticos (CPT) são, por sua vez, constituídos por uma matriz polimérica termoplástica e por elementos de reforço. A seleção entre as várias opções de materiais, tanto a matriz quanto o reforço, está condicionada a fatores como desempenho, custo, condições de processamento e disponibilidade.

Os polímeros termoplásticos de interesse para aplicações nas indústrias espacial e aeronáutica apresentam, em geral, altas temperaturas de serviço (T_s), podendo-se citar: a poli(éter-éter-cetona) com T_s igual a 245°C e a poli(sulfona) com T_s igual a 175°C, baixa emissão de fumaça, resistência mecânica a altas temperaturas e serem autoextinguíveis.

O material de reforço, por excelência, utilizado em aplicações estruturais de interesse das indústrias espacial e aeronáutica é a fibra de carbono, geralmente na forma de filamentos contínuos e com módulos de elasticidade na faixa de 200 a 270 GPa^[5].

Uma das metodologias para se processar o CPT avançado é via consolidação de várias camadas de pré-impregnados poliméricos termoplásticos (PPT), pelo uso de pressão e temperatura.

Na obtenção do PPT as fibras do material de reforço podem ser colocadas em contato com o polímero termoplástico de diversas maneiras como, por exemplo, via soluções de polímeros^[4,6-9], filmes poliméricos^[9,10], polímero em pó^[11,12] ou procedendo a fiação têxtil conjunta de filamentos do polímero termoplástico com os filamentos do material de reforço^[13-18].

O mecanismo de impregnação do reforço pelo polímero na obtenção do PPT e do CPT via moldagem por compressão a quente é descrito na literatura^[19-22]. Este mecanismo mostra que o polímero fundido é pressionado através do material de reforço, ocorrendo (a) a percolação do polímero através do material de reforço e (b) o escoamento do polímero fundido ao longo do plano do material de reforço. Para os compósitos poliméricos termoplásticos, além das etapas (a) e (b), ainda ocorrem (c) o cisalhamento intralaminar ao longo da direção das fibras e (d) o deslizamento interlaminar das camadas, em diferentes orientações. A Figura 1, extraída de Cogswell e Leach^[19], ilustra os mecanismos de escoamento citados.

Experimental

Materiais

a) Poli (éter-éter-cetona) (PEEK): especificação- Victrex 450 G, fabricante - ICI, fornecedor - LATI Thermoplastics do Brasil Ltda.

b) Poli (éter-imida) (PEI): especificação- Ultem 1010, fabricante e fornecedor- GE Plastics South America S/A.

c) Poli (sulfeto de fenileno) (PPS): especificação- Fortron PPS, fabricante- Phillips, fornecedor- PEPASA Petroquímica Paulista S/A.

d) Poli (sulfona) (PSU): especificação- Lasulf Nat. 0030, fabricante e fornecedor- LATI Thermoplastics do Brasil S/A.

A Tabela 1 apresenta algumas características dos polímeros termoplásticos usados neste trabalho^[4].

Como material de reforço foi usado tecido de fibras de carbono (FC) com gramatura de 340 g/m² e massa específica de 1,55 g/cm³, especificação- URAL T-10R, fabricante e fornecedor- Kompozit, Kaliningrad, Rússia. O tecido possui tela do tipo “Basket- twill 2x1”, onde a trama alterna 2 cabos do urdume por cima e um cabo do urdume por baixo (direção x) e o urdume alterna 2 cabos da trama por baixo e 1 cabo da trama por cima (direção y), conforme esquematizado na Figura 2. No caso específico deste tecido, as fibras são constituídas por filamentos cardados.

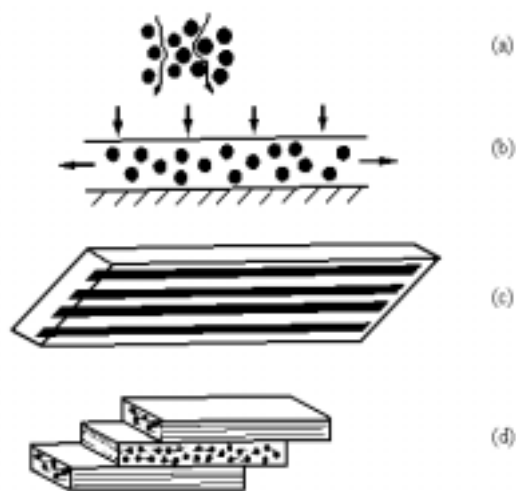


Figura 1. Processamento de PPT e CPT, onde (a,b) representam os mecanismos de escoamento do polímero fundido e (c,d) a acomodação do elemento de reforço^[19].

Tabela 1- Características físicas e mecânicas dos polímeros termoplásticos utilizados^[4].

Polímeros	PEEK	PEI	PPS	PSU
Temperatura de fusão (°C)	334		290	
Temperatura de transição vítrea (°C)	150	217	88	190
Densidade específica	1,54	1,27	1,35	1,24
Absorção de água, 24 h (%)	0,06-0,12	0,25	0,01-0,07	0,3
Resistência à tração (MPa)	103	97	86	70
Elongação (%)	150	60	6	50
Módulo de elasticidade em tração (MPa)	3600	3000	3300	2700
Resistência à flexão (MPa)	110	152	145	121
Módulo de elasticidade em flexão (MPa)	3900	3300	4100	2600

Ferramental de moldagem

Para a obtenção dos pré-impregnados termoplásticos adaptou-se um ferramental de moldagem a quente a uma prensa hidráulica com capacidade de 100 t. O ferramental de moldagem é constituído de um sistema de placa e contra-placa com dimensões de 350 mm x 350 mm. A base do ferramental é dotada de quatro resistências elétricas tipo cartucho com potências de 600 - 1000 W, acopladas a um controlador de temperatura.

A Figura 3 mostra uma vista geral da matriz de moldagem, podendo-se observar na parte anterior o termopar e na posterior os fios das resistências.

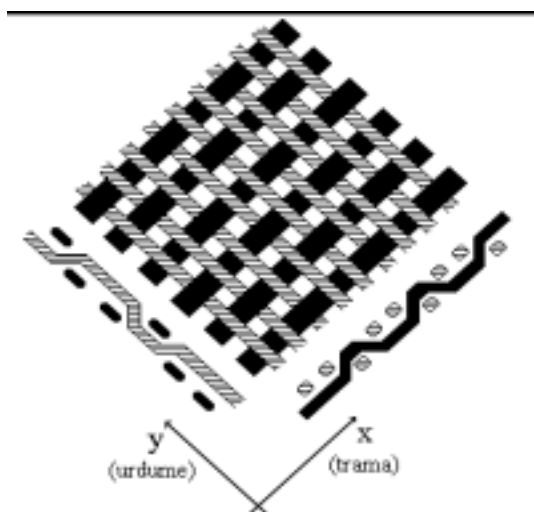


Figura 2. Esquema do arranjo dos filamentos do tecido de fibras de carbono utilizado.

Este sistema montado permite controlar os seguintes parâmetros de processo: temperatura, taxa de aquecimento e tempo de patamar com 2 ciclos sequenciais. O controle da pressão é feito manualmente.

Foram testadas duas versões do ferramental de moldagem. Na versão original trabalhou-se com uma potência total dissipada de 2400 W. Na segunda versão (otimizada) aumentou-se a potência dissipada para 3600 W e melhorou-se a isolamento térmica do sistema de moldagem.

Metodologia utilizada

A sistemática para a obtenção dos pré-impregnados termoplásticos foi a seguinte: (a) aplicação de desmoldante no ferramental, (b) colocação e posicionamento do tecido de fibras de carbono no seu interior, (c) deposição do polímero em pó ou em



Figura 3. Vista geral do ferramental de moldagem utilizado.

grânulos sobre o tecido de fibras de carbono (aproximadamente 40% em peso), (d) pré-compactação do polímero sobre o tecido para diminuir a presença de ar nas matérias-primas, (e) fechamento da prensa, (f) aquecimento do sistema até os valores máximos de temperatura mostrados na Tabela 2 (g) aplicação de pressão, conforme Tabela 2, (h) resfriamento do sistema até cerca de 150°C, (i) abertura da prensa, (j) retirada do pré-impregnado termoplástico.

O aquecimento do sistema descrito no item (f) foi realizado utilizando-se 2 taxas diferenciadas. No início fixou-se a taxa de aquecimento em 4,0°C/min até a temperatura de 150°C, com patamar de 10 min. Em seguida, a taxa foi reduzida para 3,0°C/min até a temperatura máxima descrita na Tabela 2, fazendo-se um novo patamar de 10 min.

Para a determinação dos parâmetros mais adequados de processamento dos laminados foram levadas em consideração as temperaturas de processamento das matrizes poliméricas em estudo, baseadas em informações da literatura^[4] e as características do ferramental de moldagem, quanto à aplicação de temperatura e pressão.

Utilizando-se a ferramenta do planejamento estatístico de experimentos montou-se uma seqüência fatorial completa de experimentos, para cada matriz polimérica em estudo, com 2 fatores: temperatura (T) e pressão (p) e 2 níveis. A Tabela 2 apresenta os níveis dos fatores empregados em função do polímero.

O controle do comportamento térmico dos polímeros foi realizado por análises térmicas, via calorimetria exploratória diferencial (DSC), antes e após o processamento, utilizando-se um analisador térmico da Perkin Elmer, modelo 7 Series Thermal Analysis System. A taxa de aquecimento foi de 10°C/min sob fluxo constante de nitrogênio. A eficiência da impregnação foi acompanhada por análises microscópicas dos compósitos embutidos em

Tabela 2. Níveis dos fatores empregados para cada polímero termoplástico.

Fator	Temperatura (°C)		Pressão (MPa)	
	+	-	+	-
PEEK/FC	395	370	0,69	0,34
PEI/FC	375	350	0,69	0,34
PPS/FC	350	320	0,69	0,34
PSU/FC	280	250	0,69	0,34

resina poliéster, utilizando-se um microscópio óptico marca Leica, modelo Leitz DM RXP/1750.

Resultados e Discussão

De modo a otimizar as condições de uso do ferramental de moldagem disponível foram realizados ensaios de aquecimento da matriz de compactação, variando-se a potência das resistências elétricas. Após atingir a temperatura máxima o sistema resfriava naturalmente.

A Figura 4 mostra as curvas de aquecimento do ferramental de moldagem nas versões original e otimizada (2ª versão), da temperatura ambiente até 400°C.

Sabendo-se que, a capacidade de aquecimento do ferramental de moldagem é função da potência dissipada pelas resistências elétricas, da eficácia da isolamento térmico do ferramental e da massa de metal, que constitui a matriz de moldagem, é importante considerar, no estabelecimento de parâmetros de processamento de PPT, o balanço entre o aquecimento da massa metálica do ferramental até a temperatura máxima, a dissipação de calor para o meio ambiente e a energia necessária para fundir o polímero termoplástico. Essas considerações controlam os tempos de processamento e de exposição do polímero à temperatura máxima diminuindo, assim, a possibilidade de sua degradação térmica. Logo, a análise da Figura 4 permite concluir que a versão otimizada é a mais adequada para o presente estudo, devido atingir a temperatura máxima em um menor tempo de trabalho.

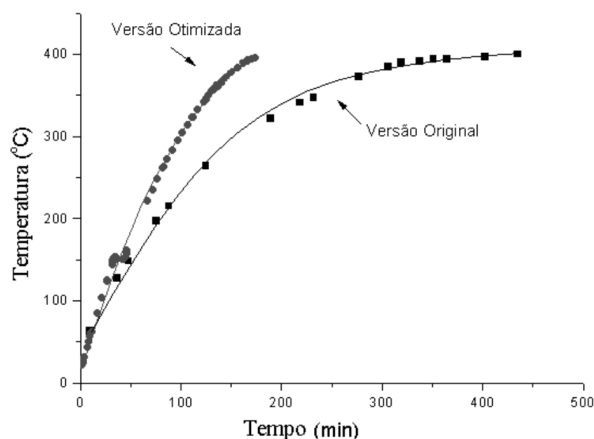


Figura 4. Curvas de aquecimento para o ferramental de moldagem nas versões original e otimizada.

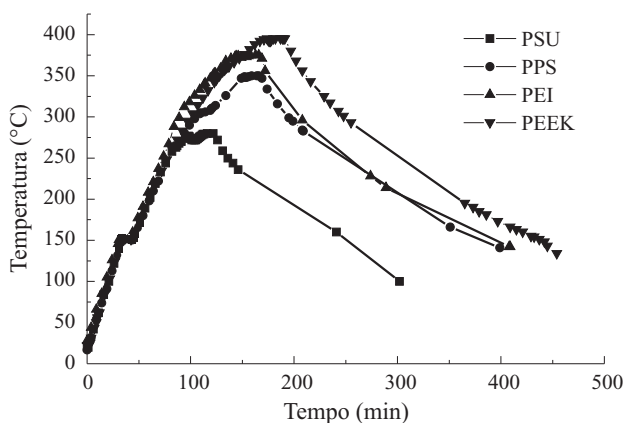


Figura 5. Curvas de aquecimento para os ensaios com os fatores (T, p) nos níveis (+,+).

Após otimizar as condições de aquecimento do ferramental de moldagem foram preparados, para cada conjunto polímero/tecido de fibras de carbono, quatro lâminas de pré-impregnados, uma para cada combinação dos fatores e dos níveis apresentados na Tabela 2.

A Figura 5 mostra as curvas de aquecimento para os ensaios com os fatores (T, p) no nível (+,+). O resfriamento da matriz de moldagem foi realizado por convecção natural e mostrou-se lento, principalmente quando pretende-se ampliar a escala de preparação dos pré-impregnados. Somado a isso tem-se que, uma solicitação térmica demasiada-

mente longa pode favorecer reações de degradação da matriz polimérica.

No presente estudo, o controle da presença de prováveis reações de degradação foi realizado pela determinação dos pontos de fusão, nos polímeros semi-cristalinos, e de transição vítrea nos polímeros amorfos (Tabela 3), antes (polímero virgem) e após a obtenção do PPT. A Figura 6 ilustra as curvas de DSC obtidas para os polímeros PEEK e PPS, podendo-se observar que não ocorreram variações significativas nas temperaturas de fusão dos mesmos.

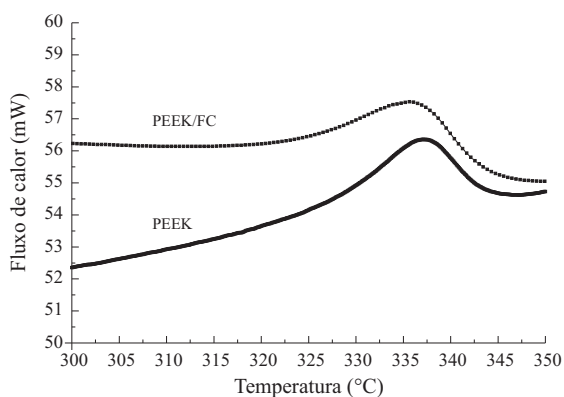
A análise destes dados mostra que o polímero PEI apresentou a maior diferença ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) na temperatura de transição vítrea, porém esta diferença não é significativa para caracterizar prováveis reações de degradação.

A Figura 7 é representativa da seção transversal dos PPT do sistema PEEK/FC, obtidos nos níveis (-,-), (+,-), (-,+) e (+,+) dos fatores (T, p).

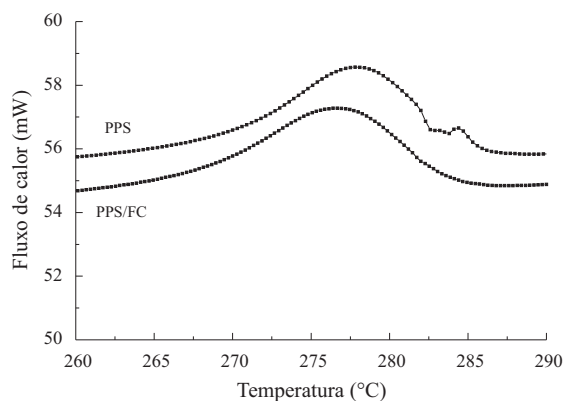
A Figura 7(a) é representativa do pré-impregnado obtido no nível (-,-), podendo-se observar as fibras transversais e longitudinais do reforço de carbono e a região do polímero impregnante. As regiões mais escuras dos cabos transversais de fibras de carbono são características de áreas não impregnada pelo polímero, rodeadas por uma região cinza mais claro, representativa dos cabos de fibras impregna-

Tabela 3 - Resultados de análise térmica dos polímeros em estudo

Polímeros	Temperatura de fusão ($^{\circ}\text{C}$)		Temperatura de transição vítrea ($^{\circ}\text{C}$)	
	Virgem	Após o Processamento	Virgem	Após o Processamento
PEEK	337	336	151	151
PPS	278	276	87	87
PEI	—	—	220	217
PSU	—	—	190	189



(a)



(b)

Figura 6. Curvas de varredura dinâmica obtidas por DSC, mostrando as temperaturas de fusão dos polímeros (a) PEEK e (b) PPS, antes e após a obtenção do PPT.

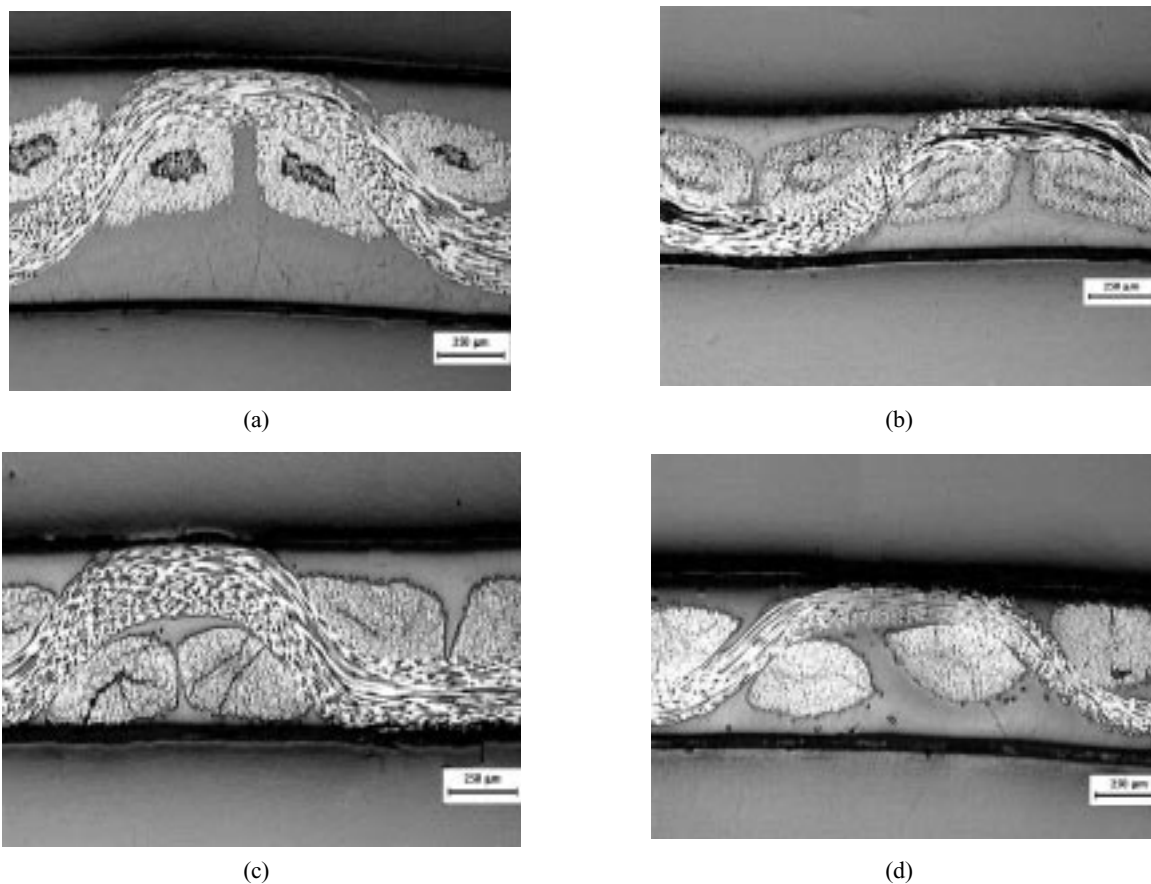


Figura 7 - PPT de PEEK/FC, nos níveis a) (-,-), b) (+,-), c) (-,+) e d) (+,+) dos fatores (T, p).

das. Uma região característica de impregnação deficiente do reforço pelo polímero, pode ser observada em maiores detalhes na Figura 8. Na Figura 7(b) observa-se que, a impregnação do reforço foi mais eficiente, mostrando que o aumento da temperatura favoreceu a obtenção de um pré-impregnado mais homogêneo e menos espesso. No entanto, ainda é possível se observar a presença de um cerne diferenciado no centro do cabo transversal de fibras de carbono, sugerindo que o processo precisa ser melhorado. A Figura 7(c), nível (-,+), mostra que a impregnação dos cabos de fibras foi eficiente, porém observa-se a presença de descontinuidades nos cabos, devido à combinação não adequada dos fatores (T, p); ou seja, na condição de temperatura menor e pressão maior o polímero não apresentou a fluidez adequada para impregnar, sem danificar a estrutura da trama do reforço. E, na Figura 7(d), nível (+,+), observa-se que o reforço está impregnado, sem a presença de danos significativos do reforço, porém nota-se excesso de matriz impregnante.

A Figura 9 ilustra os pré-impregnados de PPS/FC obtidos nas diferentes condições de

processamento. Neste caso, observa-se que o pré-impregnado obtido no nível (-,-) apresentou-se menos espesso, com o conseqüente esmagamento das fibras do reforço, Figura 9(a). No nível (+,-), Figura 9(b), que utilizou uma maior temperatura de processamento, o pré-impregnado mostrou-se adequadamente impregnado, sem danos significativos do reforço, porém com a presença de excesso de polímero impregnante. A Figura 9(c),

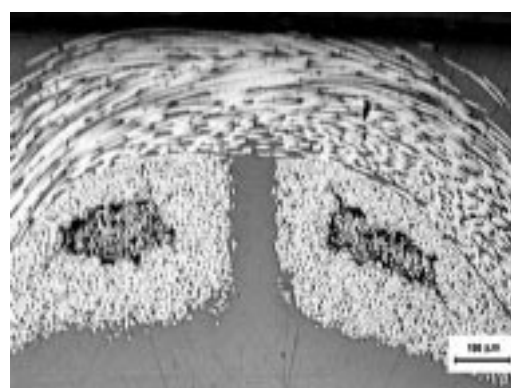
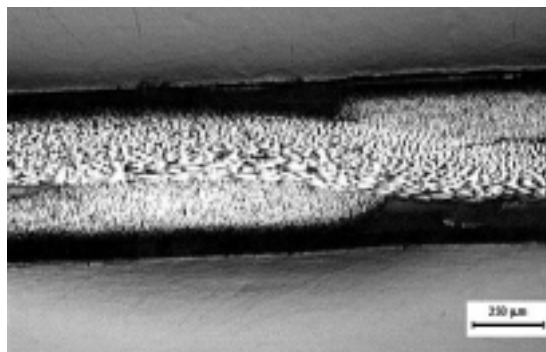
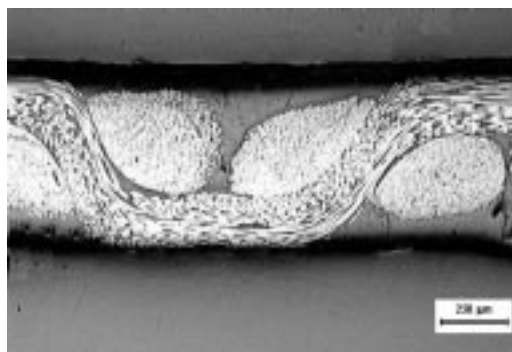


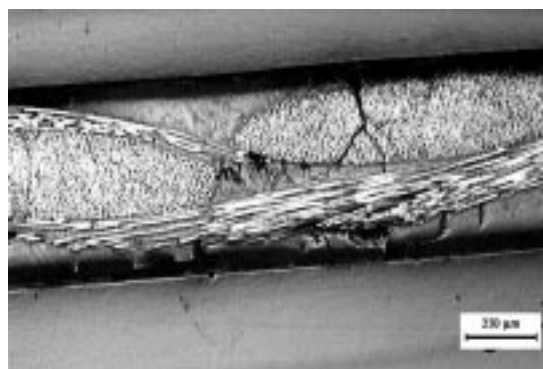
Figura 8. Detalhe da seção transversal de PPT de PEEK/FC com impregnação deficiente, nível (-,-).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 9. PPT de PPS/FC, nos níveis a) (-,-), b) (+,-), c) (-,+) e d) (+,+) dos fatores (T, p).

representativa do nível (-,+), mostra que o decréscimo na temperatura e o aumento da pressão de processamento novamente provocou o esmagamento do reforço, com a presença de descontinuidades dos cabos de fibras de carbono. No nível (+,+), Figura 9 (d), observa-se que a combinação dos fatores (T, p) foi adequada, permitindo a obtenção de um compósito bem impregnado e sem excesso de resina. Esta constatação pode ser melhor visualizada na Figura 10.

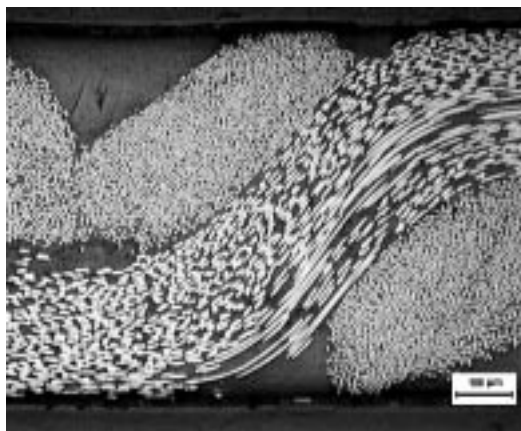
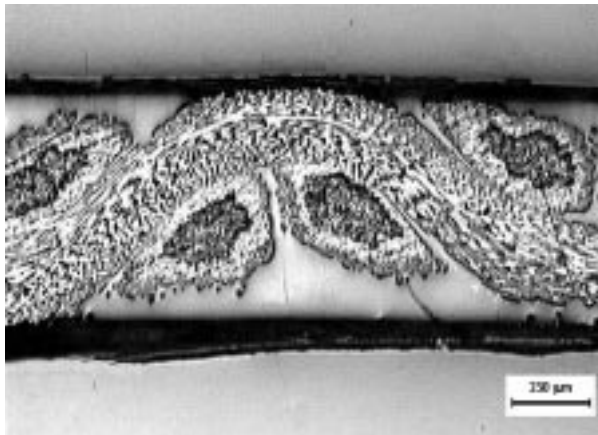


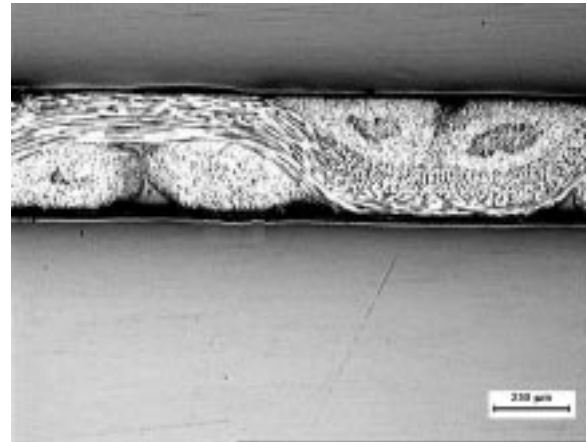
Figura 10. Detalhe da seção transversal de PPT de PPS/FC com impregnação deficiente, nível (+,+).

No caso dos pré-impregnados PEI/FC, observa-se na Figura 11, que a obtenção desse compósito é muito sensível às condições de processamento. Por exemplo, no nível (-,-), Figura 11(a), verifica-se que a impregnação é deficiente, com a presença de regiões não molhadas pelo polímero, região mais escura no cerne do cabo de fibras de carbono e excesso de polímero impregnante. No nível (+,-), Figura 11(b), observa-se que o aumento da temperatura favoreceu a impregnação dos cabos de fibras e o decréscimo de regiões ricas em polímero. Observa-se, também, que a espessura do pré-impregnado diminuiu significativamente nessa condição de processamento, em comparação ao nível (-,-). No nível (-,+), Figura 11(c), observa-se que o aumento de pressão provocou o esmagamento do reforço. E, na Figura 11(d), nível (+,+), observa-se que os fatores (T, p) permitiram a obtenção de um compósito homogeneamente impregnado, porém com a presença de excesso de resina.

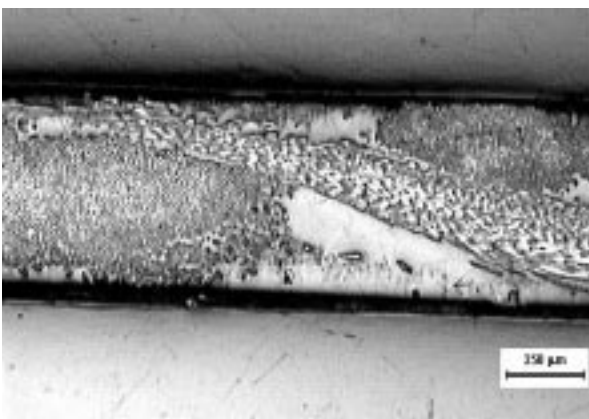
Em termos de processamento, o polímero PSU foi o que apresentou as maiores dificuldades, como pode observado na Figura 12. No nível (-,-) os fatores (T, p) não favoreceram a impregnação do reforço, iniciando o deslocamen-



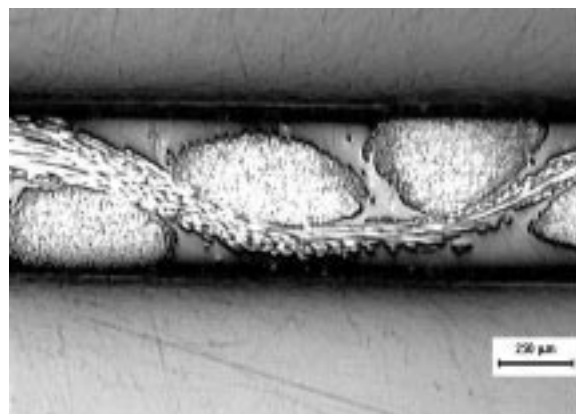
(a)



(b)



(c)

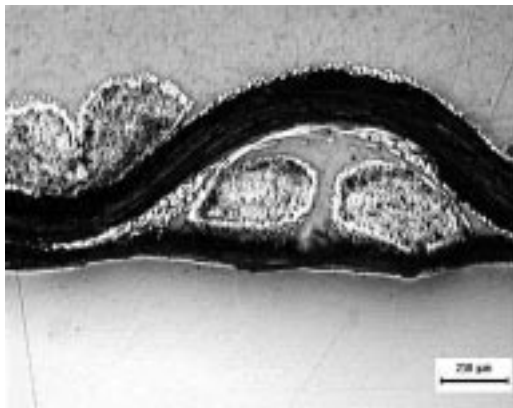


(d)

Figura 11. PPT de PEI/FC, nos níveis a) (-,-), b) (+,-), c) (-,+) e d) (+,+) dos fatores (T, p).

to dos cabos do urdume e da trama, Figura 12(a). Quando a temperatura é aumentada, nível (+,-), observa-se que inicia-se a impregnação dos cabos, porém ainda é verificado o deslocamento dos cabos de fibras e o excesso de polímero no PPT, Figura 12(b). Quando a temperatura é diminuída e a pressão aumentada fica mais nítida a alteração do arranjo do reforço, Figura 12(c). E, no caso de se aumentar os valores dos fatores (T, p) observa-se que ocorre a impregnação do reforço, com as presenças de esmagamento dos cabos do tecido e, ainda, a presença de excesso de polímero impregnante, Figura 12(d). A obtenção de PPT de PSU necessita de maiores estudos, já que os parâmetros estabelecidos (T, p) para o processamento alteraram de maneira significativa a trama e o urdume do reforço de fibras, danificando o compósito obtido. Nos níveis (-,-), (+,-) e (-,+) a fluidez do polímero dificultou, de maneira significativa, a molhabilidade do reforço ao ponto de danificar o arranjo das fibras.

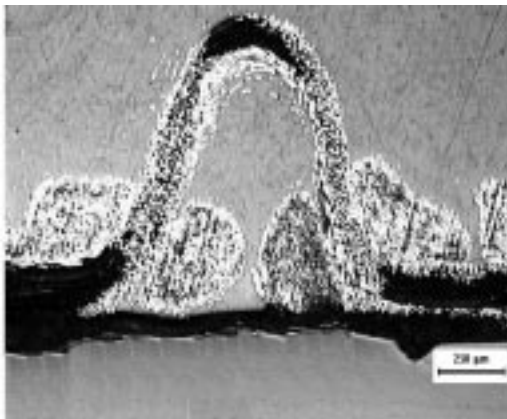
A importância de um trabalho sistemático no estabelecimento de parâmetros para a obtenção de pré-impregnados homogêneos, sem a presença de excessos de resina, pode ser melhor visualizada quando da laminação dos PPT, na obtenção de compósitos estruturais. A Figura 13 mostra laminados de PEEK/FC e PPS/FC, com oito camadas de pré-impregnados, obtidos na condição (+,+). Os PPT utilizados na laminação, também, foram obtidos no nível (+,+). Como pode ser visualizado, o laminado mostrado na Figura 13 (a) apresenta regiões ricas em resina. A Figura 13 (b) ilustra um laminado homogêneo, sem a presença de excesso de resina, com a distribuição uniforme do reforço. A textura observada nestes laminados é uma consequência direta da qualidade do pré-impregnado utilizado, enfatizando a necessidade de se trabalhar com PPT homogêneos para se obter laminados com características adequadas para serem aplicados como compósitos estruturais.



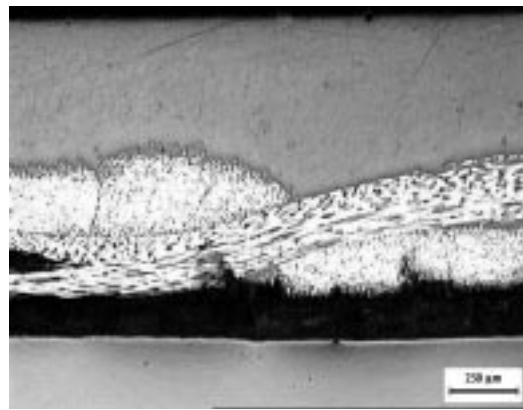
(a)



(b)

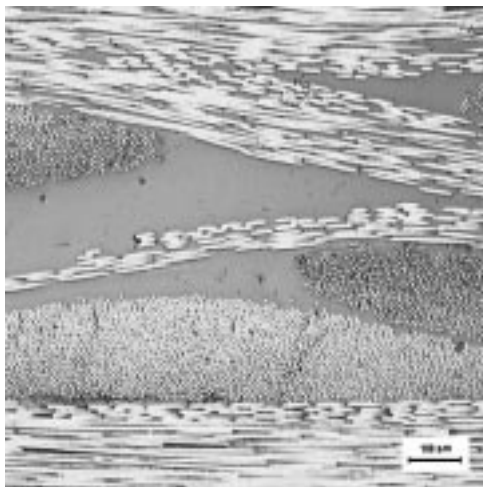


(c)

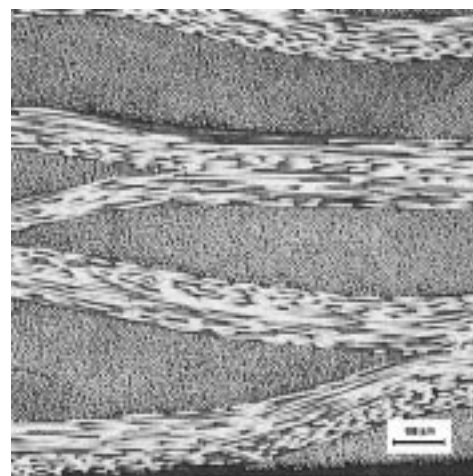


(d)

Figura 12. PPT de PSU/FC, nos níveis a) (-,-), b) (+,-), c) (-,+) e d) (+,+) dos fatores (T, p).



(a)



(b)

Figura 13. Laminados obtidos no nível (+,+) de a) PEEK/FC e b) PPS/FC.

Conclusão

A técnica de planejamento estatístico de experimentos mostrou-se uma ferramenta útil na sistematização dos parâmetros de processamento a

serem estudados. O seu uso permitiu estabelecer de maneira sistemática, dentre os limites escolhidos, a combinação dos parâmetros temperatura e pressão na obtenção dos PPT.

O processo de obtenção de pré-impregnados

termoplásticos homogêneos via moldagem por compressão a quente, utilizando-se como reforço tecido de fibras de carbono e plásticos de engenharia, é viável, permitindo estudos futuros de laminação e de consolidação de compósitos poliméricos termoplásticos de uso estrutural.

A escolha adequada dos parâmetros temperatura e pressão é necessária, pois estes alteram a qualidade do pré-impregnado obtido. Dentre os polímeros estudados, os de caráter semi-cristalinos mostraram-se de mais fácil manipulação, enquanto que os amorfos necessitam de novos estudos para otimizar o seu uso na impregnação de reforços de fibras de carbono.

Agradecimentos

Os autores agradecem às equipes das Divisões de Materiais e de Materiais Bélicos/IAE/CTA pelo suporte logístico e técnico e à FAPESP pelo suporte financeiro.

Referências Bibliográficas

1. Peibly, H.E.- "Glossary of terms", in: Composites, cap. 1, Theodore J. Reinhart (ed), ASM International, Ohio (1987).
2. Hull, D.- "An introduction to composite materials", Cambridge University Press, Cambridge (1987).
3. Kirk, G.E.- "The composite aeroengine", in: Anais da 3ª. Conferência Internacional sobre Compósitos Reforçados com Fibras, p.1, Universidade de Liverpool, Inglaterra, mar (1998).
4. "Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastic Industrie", M.L. Berins (ed), Chapman & Hall (1991).
5. Hull, D. & Clyne, T.W.- "An introduction to composite materials", Cambridge University Press, Cambridge (1996).
6. Offringa, A.R.- Composites, 27 A, p.329 (1996).
7. Ives, P.J. & Williams, D.J.- "Ultra-fine performance yarns in carbon and other fibres, a route to lightweight fabrics and thermoplastic prepregs", in: Anais do 33º. Simpósio Internacional SAMPE, p.858, mar (1988).
8. Post, L. & van Dreumel, W.H.M.- SAMPE Journal, p.32, nov/dez (1985).
9. Krekel, G.; Zielke, U.J., Hüttinger, K.J. & Hoffman, W.P.- Journal of Materials Science, 29, p.3984 (1994).
10. Ma, C.C.; Yur, S.W.; Ong, C.L. & Sheu, M.F.- "Effect of annealing on the properties of carbon fiber reinforced PEEK composite", in: Anais do 34º. Simpósio Internacional SAMPE, p.350, mai (1989).
11. Miller, A.; Wei, C. & Gibson, A.G.- Composites: parte A, 27 A, p.49 (1996).
12. Muzzy, J.; Varughese, B.; Thammogkol, V. & Tincher, W.- SAMPE Journal, 25, p.15, set/out (1989).
13. Magidi, A.P.; Rotermund, M.J. & Taske II, L.E.- SAMPE Journal, p.12, jan/fev (1988).
14. Egerton, M.W. & Gruber, M.B.- "Thermoplastic filament winding demonstrating economics and properties via in-situ consolidation", in: Anais do 33º. Simpósio Internacional SAMPE, p.35, mar (1988).
15. Linch, T.- SAMPE Journal, 25/1, p.17, jan/fev (1989).
16. Coldicott, R.J.; Longdon, T.; Green, S. & Ives, P.J.- "Heltra- a new system for blending fibres and matrix for thermoplastic-based high performance composites", in: Anais do 34º. Simpósio Internacional SAMPE, p.2206, mai (1989).
17. Morales, A. & Ko, F.K.- "The effect of fiber architecture on the properties of PEEK/graphite composites", in: Anais da 21ª. Conferência Técnica Internacional SAMPE, p.960, set (1989).
18. Beehag, A.B. & Ye, L.- Composites: parte A, 27 A/3, p.175 (1996).
19. Cogswell, F.N. & Leach, D.C.- SAMPE Journal, p.11, mai/jun (1988).
20. Muzzy, J.; Norpoth, L. & Varughese, B.- SAMPE Journal, 25, p.23, jan/fev (1989).
21. Kim, T.W. & Jun, E.J.- The effect of pressure on the impregnation of fibres with thermoplastic resins", in: Anais do 34º. Simpósio Internacional SAMPE, p.323, mai (1989).
22. Lin, H.H.; Ranganathan, S. & Advani, S.G.- "Consolidation of continuous fiber systems", in: Flow and reology in polymer composites manufacturing- Composite Materials Series, v.10, Suresh G. Advani (ed), Elsevier (1994).

Recebido: 31/07/98
Aprovado: 20/09/99