

Estudo de Técnicas e Materiais para Evitar a Marcação de Peças no Processo de Infusão em Compósitos

Luis Felipe Berni Fernandes, Prof. Dr. Lucas L. R. Vono

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Anhembi Morumbi (UAM)

Resumo — A infusão a vácuo é um método de laminação muito utilizado nas indústrias atualmente por possibilitar a produção de uma peça mais leve, resistente e em menos tempo de fabricação. A cura da resina durante o processo gera um pico exotérmico alto, causando deformações e marcações na peça, o que gera a necessidade de grandes retrabalhos. O objetivo deste trabalho é realizar um estudo de técnicas e materiais para mitigar ou eliminar o problema da marcação. Foi feito um experimento simulando as condições de uma infusão de um casco de uma embarcação em um corpo de prova aplicando essas técnicas e materiais estudados. O resultado esperado é que a combinação das técnicas e materiais mencionados elimine o problema de marcação das peças em uma linha de produção, eliminando a necessidade de retrabalho.

Palavras-Chave — infusão. compósito. processo

I. INTRODUÇÃO

O PROCESSO de laminação por infusão a vácuo atualmente é largamente utilizado nas indústrias de compósitos por conferir uma peça leve e resistente, gastando menos material e tempo de atravessamento produtivo. O processo é aplicado em diversas indústrias, como a eólica, automotiva, aeronáutica, naval, entre outras. [1,6,11]

Esse processo consiste em impregnar com resina mantas, tecidos de fibra de vidro e espumas de PVC posicionadas em um molde através do vácuo. É possível visualizar o esquema do processo na figura 1. Primeiramente as camadas de material são posicionadas no molde secas (sem a resina). É posicionado e fixado um filme plástico no molde. Através de uma bomba de

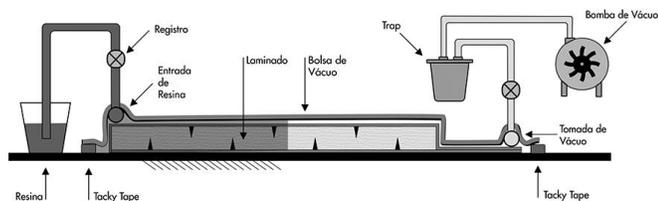


Fig. 1. Esquema do Processo de Infusão [14]

vácuo conectada por uma mangueira, o ar é retirado. Por outra mangueira que está imersa em um recipiente com resina, a mesma é inserida na peça através da diferença de pressão entre o ambiente e o molde. Quando o material chega na parte interna do molde ele percorre a peça através de mangueiras helicoidais, rebaixos na espuma ou telas de resina até preencher toda a peça. [1,8]

Como a resina está sendo inserida através desta diferença de pressão e não manualmente, esse processo garante que seja inserido a quantidade ideal de resina para cada peça. O vácuo por sua vez também ajuda a comprimir todos os *layers* de material, garantindo um laminado mais compacto, resistente e leve. Isso ocorre devido à alta compressão das camadas e da menor quantidade de resina na comparação com a laminação manual, que depende da mão e da perícia do operador. Estudos mostram que a laminação manual possui uma quantidade de fibras de aproximadamente 36%, enquanto na laminação por infusão a vácuo esse número pode chegar a 60%, fazendo com que a peça final tenha uma resistência maior e um peso menor. [2,7,8]

Esse processo, contudo, gera um pico exotérmico de temperatura muito alto, que pode chegar em alguns casos a mais de 135°C, pois a peça é laminada de uma vez só ao invés de camada por camada, como é o caso da laminação manual. [4] No plano de laminação de muitas peças é utilizado a espuma de PVC para estruturar e garantir mais rigidez na peça. Essa espuma por sua vez possui pequenos *grooves* (rebaixos na espuma que formam pequenos canais por onde a resina percorre durante o processo de infusão) como é possível observar na figura 2. Esses canais no final do processo geram um acúmulo de resina, como existe uma quantidade de material maior sofrendo o processo de cura, ocorre um pico exotérmico alto, o que faz com que ocorra uma marcação desses canais na parte externa da peça após a cura completa. É possível observar o resultado desta marcação na figura 3 de uma peça desmoldada e na figura 4 cujo problema foi observado após a peça ser finalizada. [8,9,12,13]

Por mais que essa marcação não signifique uma deficiência na resistência mecânica, ela prejudica a estética da peça [13]. Em produtos destinados para fins estéticos e de design além do de resistência, em embarcações, fachadas de prédios em projetos arquitetônicos, ônibus e trens por exemplo, essa alteração na superfície pode significar uma perda na qualidade final do produto [1,11]. Desta forma, as empresas gastam um tempo muito grande retrabalhando a peça através da aplicação

massas de modelagem e repinturas, o que gera um custo muito grande para a companhia em cada peça produzida, pois se gasta mais material e mais hora homem no processo de acabamento.

Entretanto esse retrabalho é necessário para garantir uma superfície dentro dos padrões de qualidade da empresa.



Fig. 2. Foto de uma Placa de espuma PVC [15]



Fig. 3. Foto da marcação da espuma PVC em uma peça desmoldada
Fonte: próprio autor

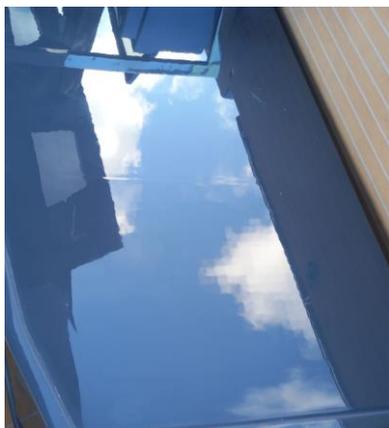


Fig. 4. Foto da marcação da espuma PVC em uma peça finalizada

Fonte: próprio autor

Além do custo de retrabalho esta marcação pode gerar problemas de qualidade. visto que é aplicado massas para a correção da superfície, executado repinturas na peça e polimentos extras. Essas atividades necessitam de um controle grande de qualidade para que sejam executadas da maneira correta e para garantir o produto final. A empresa necessita, portanto, gastar mais recursos para garantir que esses processos estejam passando pelo departamento de qualidade, estejam sendo inspecionados e executados da maneira correta.

Este trabalho executou um estudo e posteriormente um experimento com um corpo de prova simulando as condições de laminação de um casco de embarcação para buscar mitigar ou até eliminar esse problema de marcação.

A ideia proposta é trabalhar em materiais isolantes que ajudem a criar uma barreira entre a espuma e a superfície da peça, técnicas de execução do processo e técnicas de montagem do mesmo, com o objetivo de gerar o menor pico exotérmico possível, mínimo de acúmulo de resina nas regiões da peça, e um molde totalmente vedado sem a entrada de ar e umidade.

Eliminando essa marcação é possível reduzir muito o retrabalho que diversas empresas tem após a laminação das peças, aumentando dessa forma sua capacidade produtiva, pois o tempo de produção de cada peça será menor, reduzindo consequentemente do custo produtivo de cada peça em relação a hora homem (HH) e material, aumentando a qualidade final de cada peça.

II. PROBLEMA DE PESQUISA / OBJETIVOS

Para qualquer indústria, quanto menor o atravessamento produtivo de cada peça, melhor, pois menores serão os custos diretos e indiretos da peça.

O principal problema estudado foi que os chamados *grooves* da placa de PVC, que é o canal onde a resina utiliza para percorrer toda a peça durante o processo gera um acúmulo de resina. Durante a cura do material esse acúmulo de resina atinge uma alta temperatura devido ao fato de que uma maior quantidade de material está liberando calor durante a reação química no processo de cura, quando o material passa para a fase de resfriamento ocorre uma contração desse canal, essa contração puxa todo o material próximo e gera uma marcação desse canal na superfície da peça, ou seja, quando a peça é desmoldada, é possível observar visualmente diversas linhas na peça, o que atrapalha muito seu aspecto visual. [8,9,12,13]

Este trabalho tem como objetivo buscar soluções para melhorar ou até eliminar o problema de marcação, diminuindo desta forma o retrabalho necessário durante a fase de acabamento das peças na linha de produção.

A proposta é verificar após um experimento que tendo um controle rígido do processo e de sua montagem, ou seja, realizando diversas medições e controles como: temperatura do ambiente, catálise, medição da velocidade da resina na peça, controle de vácuo durante a infusão e na montagem da mesma, alinhado com uma escolha de materiais correta, é possível eliminar ou diminuir a marcação e o retrabalho de acabamento após a infusão.

III. PESQUISA TEÓRICA

Em um primeiro momento foi iniciado uma pesquisa in loco, ou seja, dentro da fábrica de estudo, para detectar possíveis erros ou inconsistências durante o processo de infusão. A premissa foi que parte dos colaboradores poderia estar executando de maneira incorreta ou sem se preocupar com alguns detalhes importantes do processo, os mesmos são:

- **Temperatura do Ambiente**

A temperatura do ambiente é extremamente importante e está relacionada com a catálise, ela influencia no processo de cura da resina, quanto mais quente o ambiente estiver no momento da infusão e maior for a quantidade de catalisador, mais rapidamente a resina irá curar, ou seja, passar do gel time, que é o tempo útil que a resina tem de trabalho, após esse ponto ela começa a aumentar sua viscosidade e endurecer, fazendo com que não consiga percorrer a peça e impregnar as mantas e tecidos a partir deste ponto.

No momento do gel time a resina já deve ter percorrido e impregnado toda a peça. Além do risco da resina não percorrer toda a peça, o maior desafio será controlar a catálise em função da temperatura do ambiente, se a catálise for em excesso e a temperatura do ambiente estiver alta, a peça atingirá uma temperatura muito grande durante a cura. Esse aumento do pico de temperatura pode causar empenamentos, marcações, danos no molde e em alguns casos extremos até princípios de incêndio. [5,9].

- **Temperatura da Resina no Armazenamento**

A temperatura que a resina atinge em seu armazenamento também é importante, pois na ficha técnica do produto existe um valor máximo aceitável, após essa temperatura a resina começa a perder e modificar suas propriedades físicas e químicas, podendo alterar dessa forma as condições da infusão e de nosso experimento [4].

- **Catálise**

A catálise é o ponto mais importante deste estudo, a ficha técnica da resina prevê um range da adição de 1 a 2,5% de catalisador, essa variação ocorre em função da temperatura ambiente e fica a cargo do operador durante o processo. É preciso considerar todos os pontos citados neste estudo para definir o nível de catálise para as condições que se encontram no momento.

Se o colaborador utilizar 2,5% de catalisador em um dia com temperatura ambiente superior a 30°C por exemplo, isso diminuirá o tempo de trabalho da resina, além do risco da mesma não percorrer a peça toda, a temperatura final será muito elevada. Quanto maior a diferença entre a temperatura da resina antes da catálise e o pico exotérmico, maior será a contração do laminado. O mesmo pode ocorrer se ele não obedecer a margem estabelecida pelo fabricante, utilizando uma concentração de mais de 2,5% de catalisador na resina, por exemplo.

Em outro ponto de vista, se ele catalisar em uma proporção menor do que a prevista pelo fabricante, ou em uma proporção baixa tendo em vista uma temperatura externa também baixa, a resina não irá curar por completo durante o processo ou não atingir a temperatura de vitrificação, fazendo com que ela cure após o desmolde quando exposta ao sol, causando

empenamentos e marcações [5,8,12,13].

- **Montagem da Infusão**

A montagem da infusão também é muito importante, pois ao posicionar os tecidos e placas de espuma no molde, deve se ter muita atenção para que exista o mínimo espaço vazio possível entre cada camada de manta, tecido ou placa de espuma, pois esse espaço vazio será preenchido por resina durante o processo, causando no local uma concentração alta de resina e consequentemente uma temperatura máxima maior.

- **Controle de Avançamento da Resina**

O controle do tempo que a resina demora para percorrer toda a peça é muito importante para os processos futuros, sabendo esse tempo é possível dimensionar a concentração correta de catalisador para determinada peça, pois o ideal é que a resina passe pelo ponto de gel time pouco tempo após ter percorrido toda a peça.

Se a resina chegar ao final da peça e não endurecer, a mesma começará a sair da peça pela mangueira onde está posicionado a bomba de vácuo devido a diferença de pressão. Dessa forma é necessário adicionar mais resina até que ela comece a se solidificar, causando muitas vezes um excesso de resina em algumas regiões da peça. [8]

- **Vazamentos no Vácuo da Peça**

Se houver um furo no filme de vácuo que possibilitar a entrada de ar na peça, além de comprometer a compactação do laminado, esse ar entra carregando umidade, o que pode atrapalhar o processo de cura, causar a prisão de bolhas de ar dentro do laminado, que podem gerar uma diminuição na resistência da peça, uma chance maior de deslocamento das camadas de fibra. Posteriormente essa água presa no interior da peça pode evaporar ou estourar, causando danos na pintura e no laminado. [10,12]

- **Iluminação**

A quantidade de iluminação é muito importante principalmente na montagem do processo de Infusão, para evitar possíveis defeitos que podem aparecer após a laminação. É muito importante iluminação boa e uniforme em toda a área de laminação. Contudo é recomendado evitar a incidência de luz solar diretamente na peça, pois isso pode provocar um aumento na temperatura e alterar as condições de cura do laminado. [12]

- **Ventilação**

A ventilação é extremamente importante para proporcionar um ambiente de trabalho adequado e confortável para os operadores, assim como para remover os gases liberados durante o processo de cura da resina. [12]

Foi Constatado observando o chão de fábrica e fazendo entrevistas com líderes e colaboradores que na maioria das vezes, os operadores não executavam o procedimento de acordo com os pontos mencionados acima. Os procedimentos ou instruções de trabalho eram muitas vezes incompletos ou sem todas as informações necessárias. Muitos trabalhadores também tinham pouco treinamento técnico e baseavam suas ações em experiências do passado que nem sempre eram

corretas.

Dessa forma uma das premissas do experimento foi atuar fortemente nas técnicas e fatores que influenciam o processo, para que seja possível realizar um experimento em condições mais controladas, buscando melhorar o resultado final e chegar ao resultado desejado.

Em um segundo momento a atenção foi voltada para os materiais, a marcação ocorre devido a contração do canal de resina na superfície da peça, portanto a busca foi por materiais que pudessem realizar uma barreira física entre a espuma e a superfície da peça.[12,8,9,13]

Entrando em contato com alguns fornecedores de matéria prima foi observado uma manta chamada Soric. Uma das funções da mesma era justamente criar uma barreira entre a superfície da peça e a placa de espuma. [3]

Foi decidido que seria utilizado esse material no experimento para validar sua eficácia e o mesmo seria posicionado entre o *skin coat* e a infusão. O *skin coat* é o nome dado as primeiras camadas de manta e Gel coat, traduzindo que são laminados na peça de maneira manual antes da infusão, ela tem a função de fornecer um acabamento liso e retilíneo na embarcação, protegendo a superfície de possíveis bolhas do processo de infusão, garantir a proteção do laminado contra o ambiente e fornecer a cor do casco da embarcação ou da peça.[12]

O objetivo é garantir que o Soric eliminaria ou diminuiria drasticamente a marcação, dessa forma o problema poderia ser corrigido apenas no polimento, e não haveria a necessidade de um retrabalho maior.

Como a premissa era que o Soric serviria como uma barreira física, o mesmo pensamento foi utilizado para o caso dos tecidos. Foi decidido que seria executado testes com tecidos mais grossos em um dos corpos de prova, para avaliar se o aumento na gramatura do tecido ajudaria na proteção da parte externa da peça contra a marcação. [3]

Além de mudar a gramatura do tecido em um dos testes, foi também modificado o plano de laminação em outro, foi passado um tecido para o *skin coat*, que antes era composto pelo gel coat e de duas a três mantas dependendo da peça. O tecido seria laminado manualmente antes da infusão junto com o gel e as mantas.

As duas últimas tentativas não eram consideradas as melhores, pois com a passagem do tecido para o *skin coat* em um teste e o aumento da gramatura do tecido em outro, junto com o aumento na quantidade de resina necessária para impregnar a peça representaria um aumento considerável no peso final da peça.

O aumento do peso, principalmente pensando em performance e redução de custo é muito ruim para a peça e para a organização, porém foi decidido seguir em frente com os dois testes tendo em vista que o retrabalho que estava sendo executado gerava ainda mais peso e mais horas trabalhadas do que as alternativas propostas.

Outro foco da pesquisa foi a própria placa de espuma, é visível após cada desmolde que o problema vem da contração dos canais onde a resina percorre o molde, pois é possível visualizar a marcação dos mesmos na parte externa da peça. Foi pesquisado tipos e modelos de placas com dimensões de canais

menores, dessa maneira a resina ainda teria como percorrer toda a peça, porém a concentração ao longo de cada canal seria menor.

Para o estudo em questão foi realizada essa troca, deixando a região de controle com o divynycell original e as outras com um divynycell de especificações de canal menores que o original.

Após o estudo teórico foi criado um procedimento para o problema estudado e um formulário que deveria ser preenchido antes, durante e após cada infusão.

IV. METODOLOGIA

Para validar as hipóteses produzidas durante a pesquisa foi realizado um experimento com um corpo de prova em uma mesa de infusão horizontal de vidro. Nesse experimento foi simulado as condições existentes durante a infusão de um casco de uma embarcação.

O corpo de prova possuía 25,59x66,74cm e o mesmo foi dividido em diferentes regiões. Uma foi mantida original como controle. Em cada uma das demais regiões foi testado uma hipótese levantada durante a pesquisa.

No desenho da figura 5 com cotas em centímetros é possível observar que o corpo de prova foi dividido em 6 regiões distintas:

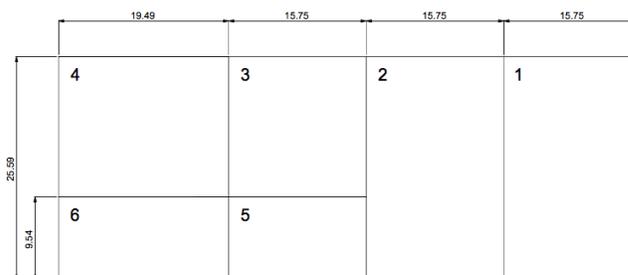


Fig. 5. Desenho das regiões do corpo de provas
fonte: próprio autor

Em seguida no quadro 1 é possível observar o plano de laminação proposto para cada região.

Na Primeira região foi mantido o plano de laminação original, que é composto pelo *skin coat* (gel coat e 2 mantas 300), 2 camadas de tecido CM 2408, uma placa de espuma H60 de 25mm de espessura, e novamente 2 camadas de tecido CM2408.

Na segunda região foi mantido o mesmo plano, porém com a adição do tecido Soric entre o *skin coat* e o primeiro tecido CM2408 da infusão.

Na terceira região os primeiros dois tecidos CM2408 do plano de laminação foram trocados pelo CM3208 que são mais pesados.

Na quarta região o primeiro tecido CM2408 foi colocado no processo de *skin coat* e não na infusão, ou seja, foi retirado o tecido do processo de infusão e adicionado no *skin coat*.

Na quinta região foi feito o mesmo que na quarta, e além desta mudança também foi introduzido um Soric entre o *skin*

coat e o plano de laminação da infusão.

		Região 1 (Controle)	Região 2	Região 3
Etapa		Plano de Laminação	Plano de Laminação	Plano de Laminação
Skin Coat	1	Gel Coat ISO	Gel Coat ISO	Gel Coat ISO
	2	Manta 300	Manta 300	Manta 300
	3	Manta 300	Manta 300	Manta 300
Infusão	4	Tecido CM2408	Soric	Tecido CM3208
	5	Tecido CM2408	Tecido CM2408	Tecido CM3208
	6	Divynycell H60 25mm	Tecido CM2408	Divynycell H60 25mm
	7	Tecido CM2408	Divynycell H60 25mm	Tecido CM2408
	8	Tecido CM2408	Tecido CM2408	Tecido CM2408
	9		Tecido CM2408	
		Região 4	Região 5	Região 6
Etapa		Plano de Laminação	Plano de Laminação	Plano de Laminação
Skin Coat	1	Gel Coat ISO	Gel Coat ISO	Gel Coat ISO
	2	Manta 300	Manta 300	Manta 300
	3	Manta 300	Manta 300	Manta 300
	4	Tecido CM2408	Tecido CM2408	
Infusão	5	Tecido CM2408	Soric	Soric
	6	Divynycell H60 25mm	Tecido CM2408	Tecido CM3208
	7	Tecido CM2408	Divynycell H60 25mm	Tecido CM3208
	8	Tecido CM2408	Tecido CM2408	Divynycell H60 25mm
	9		Tecido CM2408	
	10			Tecido CM2408

Quadro 1. Plano de Laminação de cada região
fonte: próprio autor

Na região número 6 foi adicionado o Soric entre o skin coat e a infusão. Foi trocado também os dois primeiros tecidos CM2408 do plano de laminação da infusão pelo CM3208

Para a Montagem do experimento a mesa de infusão foi posicionada em um ambiente limpo e com bastante iluminação. A montagem seguiu as especificações de cada região do quadro 1 sempre tomando cuidado para que não existam espaços vazios que possam gerar acúmulo de resina.

Após a montagem da infusão foi posicionado os tecidos que tem apenas a função de desmolde em toda a peça. A mangueira de vácuo foi posicionada em todo o comprimento do lado esquerdo (maior) do corpo de prova e a mangueira de resina do lado oposto (direito). Dessa forma a resina irá percorrer a peça inteira da esquerda para a direita como é possível verificar na figura 6.



Fig. 6. Montagem do corpo de prova
Fonte: próprio autor

Com o corpo de prova montado, a bolsa de vácuo foi fechada ao redor de toda a peça. Com o fechamento da bolsa foi ligada a bomba de vácuo até que todo o ar fosse retirado.

Após a pressão se estabilizar foi feito um teste de vácuo: a válvula que controla a entrada e saída do ar na peça foi fechada e a bomba desligada. Essa condição foi mantida por 3 minutos para determinar se a pressão subiria. Esse aumento da pressão indicaria que o ar estaria vazando para a atmosfera em algum ponto do filme de vácuo.

Após 3 minutos não houve aumento da pressão interna da bolsa, portanto passamos para o teste da resina: Para determinar a quantidade ideal de catalisador foi feito 2 testes separados em recipientes com 300 gramas de resina em cada um. Um dos recipientes foi catalisado com 1,5% e o outro com 2%. Foi anotado a temperatura máxima, tempo de trabalho para cada amostra como mostra o quadro 2. Com os testes finalizados foi escolhido a amostra 2 para o experimento.

1- Preparação	
A infusão está montado conforme plano de laminação?	
Existe espaços vazios na peça que gerem acúmulo de Resina?	
As Linhas de Resina e vácuo estão conforme plano de infusão?	
Feito o teste da Vácuo?	
Houve queda de pressão? Quanto?	

2- Medidas e Teste		
TESTES		TEMPERATURAS MEDIDAS
Teste 1:	Teste 2:	Temperatura Externa:
Temperatura máxima:	Temperatura máxima:	Temperatura da Peça:
Catálise:	Catálise:	Temperatura da Resina:
Tempo de Trabalho:	Tempo de Trabalho:	Teste Escolhido Catálise:
Quantidade de Resina:	Quantidade de Resina:	

Quadro 2. Preparação e teste de resina
fonte: próprio autor

Tendo os testes de resina e de vácuo finalizados, a bomba de vácuo foi religada e a válvula que controla a entrada de ar na peça aberta novamente.

Finalizada a etapa de preparação e de pré-testes o processo foi iniciado. A válvula que liberava a resina foi aberta e a mesma começou a percorrer a peça. Durante o processo foram anotados a temperatura máxima na peça durante a infusão, a distância percorrida pela resina em comparação com o tempo decorrido do início do processo, o tempo até a resina percorrer toda a peça, entre outros como mostra o quadro 3.

3- Durante a Infusão		
DESCRIÇÃO		TEMPO MEDIDO
Início da Infusão:		Linha 15cm:
		Linha 22cm:
Temperatura Máxima medida na peça:		Linha 33cm:
Tempo até a Resina percorrer toda a peça:		Linha 44cm:
Tempo até solidificação da resina nas mangueiras:		Linha 53cm:
Fechamento completo da Linha de Resina:		Linha 63cm:
OBSERVAÇÕES:		
Após infusão		
Houve vazamentos ou perda de pressão?	() Sim () Não	Baixo vazamento no registro de resina
Houve necessidade de adição de mais linhas de vácuo?	() Sim () Não	
A Resina chegou até todos os pontos da peça?	() Sim () Não	
Houve áreas secas?	() Sim () Não	
A resina curou por completo?	() Sim () Não	

Quadro 3. Dados do processo
fonte: próprio autor

No momento que a resina começou a se solidificar e parou de se mover na peça a linha de resina foi fechada e o tempo total do processo foi anotado. A peça foi deixada para completar seu processo de cura por 24 horas com a bomba ligada para garantir que a pressão seria mantida sem alterações. Passado esse tempo de cura como sendo o padrão recomendado pelo fabricante da resina, a bomba foi desligada, a peça desmoldada e levada a um ambiente externo por 7 dias para simular as condições térmicas que um casco de uma embarcação é submetido.

Decorridos 7 dias a peça foi polida com o objetivo de conferir brilho no corpo de prova para facilitar a visualização das marcações e levada para um ambiente com uma boa iluminação para análise.

DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

O primeiro resultado da preparação do experimento foi obtido através do teste da resina, esse teste busca estabelecer qual a melhor catálise para se produzir a peça considerando as condições do ambiente atual e a peça em questão.

Após a finalização do teste de resina com 2 amostras iguais e catálises diferentes foi obtido os seguintes resultados conforme o Quadro 4.

2- Medidas e Teste		
Teste 1:	Teste 2:	TEMPERATURA
Temperatura máxima: 118	Temperatura máxima: 116	Temperatura Externa: 26
Catálise: 1.5%	Catálise: 2%	Temperatura da Peça: 27
Tempo de Trabalho: 1:33	Tempo de Trabalho: 1: 12	Temperatura da Resina: 23,2
Quantidade de Resina: 300g	Quantidade de Resina: 300g	Teste Escolhido Catálise: 2
A distância máxima que a resina tem de percorrer obedece seu tempo de trabalho? SIM (X) NÃO ()		

Quadro 4. Medidas de temperatura e teste de resina
fonte: próprio autor

Tendo em vista que o tempo de trabalho obtido no teste 2 era o suficiente para que a resina percorresse toda a peça, e a temperatura máxima atingida foi muito próxima do teste 1 com a catálise inferior, a amostra escolhida foi a número 2. A amostra número 2 foi realizada com uma catálise de 2%, dentro dos limites estabelecidos pelo fornecedor.

Após a etapa de preparação a infusão foi iniciada. Os dados da infusão foram anotados e dispostos conforme o Quadro 5.

3- Durante a Infusão		
DESCRIÇÃO		TEMPO MEDIDO
Início da Infusão: 14:26		Linha 15cm: 14:33
		Linha 22cm: 14:35
Temperatura Máxima medida na peça: 33.3°C		Linha 33cm: 14:37
Tempo até a Resina percorrer toda a peça: 14:49		Linha 44cm: 14:39
Tempo até solidificação da resina nas mangueiras: 15:50		Linha 53cm: 14:41
Fechamento completo da Linha de Resina: 15:50		Linha 63cm: 14:45
Após infusão		
Houve vazamentos ou perda de pressão?	(X) Sim () Não	Baixo
Houve necessidade de adição de mais linhas de vácuo?	() Sim (X) Não	
A Resina chegou até todos os pontos da peça?	(X) Sim () Não	
Houve áreas secas?	() Sim (X) Não	
A resina curou por completo?	(x) Sim () Não	

Quadro 5. Dados medidos durante e após infusão
fonte: próprio autor

A resina levou um total de 26 minutos para percorrer e preencher toda a peça e se solidificou após 1 hora e 24 minutos do início da infusão. Esse tempo até a resina se solidificar era o esperado, pois em um casco real da linha de produção seria preciso de um tempo grande de trabalho para que a resina percorresse toda a peça, e a ideia deste experimento era simular as condições reais de trabalho. Portanto a entrada e saída de resina foi controlada até a cura da resina para se certificar que a peça não ficasse com excesso ou falta de resina. Um fato importante foi que a temperatura não excedeu os 34°C. Esse resultado preliminar foi muito bom, pois significou que a peça não passou por um pico exotérmico alto, e a chance de ter ocorrido a marcação é bem menor.

Após a infusão foi preenchido o Checklist do quadro 5. Foi possível perceber um vazamento na válvula de registro de entrada da resina, porém como a bomba estava ligada, esse vazamento não chegou a afetar o vácuo da peça ou o teste em si, pois a pressão se manteve inalterada durante todo o processo. A resina percorreu toda a peça sem deixar nenhum ponto seco (sem resina) e não houve a necessidade de adicionar mais linhas de vácuo durante o processo.

Após o desmolde e polimento da peça foi realizado uma inspeção visual e os resultados obtidos em cada região foram dispostos conforme quadro 6.

		1 (Controle)	2	3
Etapa		Plano de Laminação:	Plano de Laminação:	Plano de Laminação:
Skin Coat	1	Skin Coat	Skin Coat	Skin Coat
	2	2408	Soric	3208
Infusão	3	2408	2408	3208
	4	Divynycell H60 25mm	2408	Divynycell H60 25mm
	5	2408	Divynycell H60 25mm	2408
	6	2408	2408	2408
	7	2408	2408	
Marcação:		Marcou	Não Marcou	Marcou

		4	5	6
Etapa		Plano de Laminação:	Plano de Laminação:	Plano de Laminação:
Skin Coat	1	Skin Coat com Tecido 2408	Skin Coat com Tecido 2408	Skin Coat
	2	2408	Soric	Soric
Infusão	3	Divynycell H60 25mm	2408	3208
	4	2408	Divynycell H60 25mm	3208
	5	2408	2408	Divynycell H60 25mm
	6		2408	2408
	7			2408
Marcação:		Marcou Pouco	Não Marcou	Não Marcou

Quadro 6. Resultado de cada região
fonte: próprio autor

A área 1 foi mantida como controle com o plano de laminação original. Foi possível observar marcações da espuma PVC na parte externa da peça. Contudo essas marcações foram menores que as marcações observadas em peças de linha de produção. Por conta do plano ter sido mantido original como controle, essas marcações já eram esperadas. Contudo o resultado ainda sim foi muito positivo pelo fato das marcações observadas terem em um grau menor que as da linha de produção. Também não foi observado empenamentos em nenhuma das regiões, o que é muito positivo, pois significa que

os cuidados tomados em todas as etapas do experimento conforme dissertado na pesquisa teórica produziram resultados concretos, e indica que os processos na linha de produção não estavam sendo reproduzidos corretamente.

Na área 2 foi posicionado o Soric. O objetivo é que o material produzisse uma barreira entre o *skin coat* e a infusão, evitando desta maneira a marcação do gel na parte externa da peça. O resultado foi muito satisfatório e não foi identificado marcações nesta região do corpo de prova conforme é possível verificar na figura 7.



Fig. 7. Foto da marcação da espuma PVC em uma peça finalizada
fonte: próprio autor

Na região 3 foi testado a hipótese de que a troca do tecido CM2408 pelo CM3208 também ajudaria a impedir a marcação do gel. Por ser um tecido de maior gramatura por metro quadrado, ou seja, um tecido mais grosso que o do plano de laminação original. Ao final observamos marcações no gel mesmo com essa troca de tecidos, o que refutou a hipótese.

Na região 4 Foi testado uma hipótese parecida com a região três. Um dos tecidos CM2408 foi colocado junto da laminação do *skin coat* e não da infusão. Mesmo com essa alteração que gerou um *skin coat* com uma maior espessura, ainda houve a marcação do gel na parte externa da peça. Essa marcação, contudo, foi menor que as demais observadas na região 3. Esse resultado mostrou que a adição de 1 tecido no *skin coat* ajudou a criar uma barreira entre a laminação e a infusão. Marcando menos a peça.

Na região 5 foi feito o mesmo procedimento da área 4, porém com a adição do tecido Soric entre o *skin coat* e a infusão. Essas 2 mudanças produziram uma região onde não foi possível observar marcações na peça.

Na região 6 foi mantido o Soric entre a infusão e o *skin coat* e os tecidos das primeiras camadas foram trocados pelo CM3208 para auxiliar na proteção por serem tecidos de maior gramatura por metro quadrado. Como resultado não foi possível observar marcações nesta região da peça.

V. CONCLUSÕES

O melhor resultado obtido veio das amostras cujo Soric foi aplicado. O mesmo foi aplicado nas regiões 2, 5 e 6. Em todas não foi observado a marcação do gel na parte externa da peça. Esse resultado elimina a necessidade de retrabalhos de massagem e pintura para corrigir a superfície. Portanto como oportunidade de melhoria foi recomendado o uso do Soric em todas as peças que forem laminadas através de infusão e que possuam espuma PVC em seu plano de laminação.

A adição deste material irá afetar o peso e o custo das peças, porém o retrabalho no processo de acabamento será muito menor, não será necessário retrabalhar as superfícies e repintá-las como estava ocorrendo. Em estudos preliminares de viabilidade financeira em um dos cascos da linha de produção, foi concluído que a utilização do soric na infusão produz uma redução no custo de acabamento de 44%, já contando com os custos de aquisição do material e de montagem do mesmo na infusão.

Caso não seja possível utilizar o Soric por qualquer motivo, na região 4 foi obtido o segundo melhor resultado e pode ser utilizada como uma alternativa em relação ao Soric, pois a marcação observada foi muito pequena e o plano de laminação da região não contempla a adição ou alteração de nenhum material, apenas a transferência da aplicação de um tecido da infusão para o *skin coat*.

De maneira geral, os resultados de todas as regiões foram muito satisfatórios, pois mesmo nas regiões onde foram observadas marcações, as mesmas foram muito menores que as obtidas em peças na linha de montagem. Também não foi observado nenhuma contração ou empenamento.

Esse resultado provavelmente se dá ao fato dos assuntos abordados na pesquisa teórica como: concentração de catalisador, avaliação do ambiente, iluminação, preparação da infusão, acompanhamento da infusão terem sido observados e levados em conta, produzindo melhorias concretas no resultado da peça. Essas verificações e cuidados produziram um resultado muito melhor do que o observado na linha de produção.

REFERÊNCIAS

- [1] LOPES, Inês Abreu Freire. **ESTUDO DO PROCESSO DE INFUSÃO A VÁCUO EM MATERIAIS COMPÓSITOS**: produção de tampa de bagageira para autocarro. 2009. 63 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.
- [2] Bittencourt, Ana & Dutra, Gabriel & Tancredi, Thiago Pontin. (2016). **Efeito dos processos de laminação sobre as propriedades físicas e mecânicas de compósitos de resina de poliéster com fibras de vidro**. Matéria (Rio de Janeiro). 21. 1021-1031. 10.1590/s1517-707620160004.0094.
- [3] LANTOR, **Datasheet Soric TF**, V1.3/02.2020
- [4] Ashland Polímeros do Brasil S/A, **ARAZYN 14.0 - BOLETIM TECNICO DA FAMILIA**, 001110 - 007
- [5] PILLING, Prof. Dr. Sergio. **Prática 3 – Cinética Química: estudo fenomenológico e quantitativo dos fatores que influenciam na velocidade de reações**. Estudo fenomenológico e quantitativo dos fatores que influenciam na velocidade de reações. Disponível em: https://www1.univap.br/spilling/FQE1/FQE1_EXP3_Cinetica.pdf. Acesso em: 13 out. 2021.

- [6] Hammami, A. and Gebart, B.R. (2000), **Analysis of the vacuum infusion molding process**. Polym Compos, 21: 28-40. <https://doi.org/10.1002/pc.10162>
- [7] FRANCO, R.; SUTHERLAND, L.; SOARES, C. Guedes. **O PROCESSO DE INFUSÃO DE RESINA PARA APLICAÇÕES MARÍTIMAS**. 2008. 15 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Naval, Unidade de Engenharia e Tecnologia Naval, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, Lisboa, 2008.
- [8] SILVA, Fernando Daniel Ribeiro da. **Modelação Dinâmica de um Processo de Infusão a Vácuo**. 2016. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2016.
- [9] MARTINEZ, Caetano Belda. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO CICLO DE CURA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS FABRICADOS PELO PROCESSO DE INFUSÃO DE RESINA**. 2011. 104 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.
- [10] SANTOS, João Paulo da Costa. **ESTUDO DA INFILTRAÇÃO DE AR NO PROCESSO DE INFUSÃO DE COMPÓSITOS ESTRUTURAIS DE PÁS EÓLICAS**. 2018. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- [11] GOSS, Thiago Marcon. **PANORAMA E PERSPECTIVAS DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE COMPÓSITOS**. 2010. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- [12] NASSEH, Jorge. **Manual de Construção de Barcos**. Rio de Janeiro: Book Look, 2000. 660 p
- [13] VALLEY, Ccp Cray. **Melhoria na qualidade cosmética e durabilidade de acabamento de compósitos reforçados com fibra de vidro**. Disponível em: http://www.tecnologiademateriais.com.br/mt/2011/cobertura_paineis/nautico/apresentacoes/cray.pdf. Acesso em: 12 out. 2021.
- [14] NASSEH, Jorge. **Manual de Construção de Barcos**. Disponível em: <https://www.manualdeconstrucaodebarcos.com.br/infusao-a-vacuio/>. Acesso em: 14 out. 2021.
- [15] E-COMPOSITES. **DIVINYCELL H60 SF**. Disponível em: https://www.e-composites.com.br/divinycell_h60_sf/p. Acesso em: 14 out. 2021.