

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

EDUARDO NERCOLINI

INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PEÇAS EM
COMPÓSITOS UTILIZANDO GEL COAT E TINTA POLIÉSTER

Joinville

2017

EDUARDO NERCOLINI

INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PEÇAS EM
COMPÓSITOS UTILIZANDO GEL COAT E TINTA POLIÉSTER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval no curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Prof. Eng. Luiz Eduardo Bueno
Minioli

Joinville

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Nercolini, Eduardo

INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE
PEÇAS EM COMPÓSITOS UTILIZANDO GEL COAT E TINTA POLIÉSTER /
Eduardo Nercolini ; orientador, Luiz Eduardo Bueno
Minioli, coorientador, Gabriel Benedet Dutra, 2017.
98 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville,
Graduação em Engenharia Naval, Joinville, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Naval. 2. Gel coat. 3. Tinta Poliéster.
4. Iniciador de Reção. 5. Agentes Desmoldantes. I. Bueno
Minioli, Luiz Eduardo. II. Benedet Dutra, Gabriel. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Naval. IV. Título.

Eduardo Nercolini

INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PEÇAS EM
COMPÓSITOS UTILIZANDO GEL COAT E TINTA POLIÉSTER

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Naval e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora e pelo curso de graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville, 30 de junho de 2017.

Prof. Luiz Eduardo Bueno Minioli, Eng.
Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Luiz Eduardo Bueno Minioli, Eng.
Orientador

Prof. Dr. Gabriel Benedet Dutra, Dr. Eng.

Prof. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, Eng.

RESUMO

O gel coat é um revestimento externo utilizado para proteção e acabamento superficial de peças e moldes fabricados em estaleiros de produção de embarcações de recreio. Sendo a camada mais externa do barco, está diretamente exposta às intempéries, ação da água, sol e outros. É composto por pigmentos, cargas e aditivos em resina poliéster, éster-vinílica ou epóxi. O gel coat é muito utilizado no setor náutico por apresentar alta resistência aos processos corrosivos além de excelente brilho e acabamento. Aplicado diretamente no molde, é comumente empregado na cor branca, contudo, o gel coat pode ser fabricado em diversas cores, permitindo que este também seja usado como revestimento estético diferenciado nas pinturas de casco, costado e outras peças. Outro tipo de pintura de acabamento utilizada na fabricação de embarcações de recreio é a pintura com tinta poliéster. Essa tinta é aplicada diretamente na peça desmoldada e requer uma preparação do substrato previamente à aplicação da tinta. Possui excelente qualidade superficial e possibilidade de acabamentos metálicos e perolizados, sendo por isso, escolhido por alguns estaleiros como método de pintura. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o acabamento de peças em compósitos utilizando gel coat e tinta poliéster, bem como caracterizá-las através de ensaios mecânicos, como dureza Barcol e Shore-D, análise de absorção de água, molhabilidade e inspeção visual. Foi observado também a influência da variação da quantidade de iniciador de reação, também conhecido como catalisador, e dos agentes desmoldantes no acabamento das peças e nas propriedades do compósito. Ensaios laboratoriais com corpos de provas foram realizados e de acordo com as normas vigentes, como a norma ASTM 2230 e ASMT D2583. Todo o processo de fabricação das amostras seguiu os procedimentos de construção do estaleiro Schaefer Yachts, estaleiro de produção de embarcações de recreio localizado em Florianópolis, SC, local de aplicação do estudo em questão. Uma análise de custos também foi elaborada para avaliar o melhor custo-benefício entre os métodos de pintura estudados. Os resultados demonstraram que, dado o grau de cura do gel coat, frente à secagem da tinta poliéster, resultou em um revestimento com melhores propriedades de dureza, menor absorção de água, maior ângulo de incidência de gota no ensaio de molhabilidade e um custo bastante reduzido em comparação com o processo de pintura com tinta poliéster. Dessa forma, fica claro que o gel coat possui grande potencial para ser utilizado com outras cores em pinturas estéticas aplicadas à indústria náutica.

Palavras-chave: Pintura náutica. Gel coat. Absorção de Água. Tinta Poliéster. Materiais Compósitos.

ABSTRACT

Gel coat is an external coating used for protection and surface finishing of molded parts and molds manufactured in shipyards of recreational boats. Being the outermost layer of a boat, it is directly exposed to the action of weathering, water, sun and others. It is composed of pigments, fillers and additives in a polyester, vinyl ester or epoxy resin. The gel coat is often used in the nautical industry because its high resistance to corrosive process besides excellent gloss and finish. When applied directly to the mold, it is commonly used in white color, however, the gel coat can be manufactured in several colors, allowing it also to be used as a different aesthetic coating on the hull, topsides and other parts. Another type of finishing paint used in the manufacture of crafts is painting with polyester paint. This paint is applied directly onto the molded part and requires preparation of the substrate prior to the application of the paint. It has excellent surface quality and possibility of metallic and pearlescent finishes, being therefore chosen by some shipyards as a painting method. In this context, the objective of this work was to evaluate the finishing of molded parts manufactured in composites using gel coat and polyester paint, as well as to characterize them through mechanical tests such as Barcol and Shore-D hardness, water absorption analysis, wettability and visual inspection. It was also observed the influence of the variation of the amount of reaction initiator, also known as catalyst, and of the release agents on the finish of the molded parts and on the properties of the composite. Laboratory tests with samples were performed and in accordance with current standards, such as ASTM 2230 and ASMT D2583. The entire process of manufacturing the samples followed the procedures for construction of boats on Schaefer Yachts shipyard, a recreational boat shipyard located in Florianópolis, SC, Brazil, where the study was applied. A cost analysis was also developed to evaluate the best cost-benefit among the painting methods studied. The results showed that, due to the degree of curing of the gel coat against the drying process of the polyester paint resulted in a coating with better hardness properties, lower water absorption, higher drop angle in the wettability test and a reasonable cost compared to the polyester paint process. Thus, it is clear that the gel coat has great potential to be used with other colors in aesthetic paintings applied to the nautical industry.

Keywords: Nautical Painting. Gel coat. Water Absorption. Polyester Paint. Composite Materials.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA CARACTERÍSTICO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM PRFV	19
FIGURA 2 - MOLÉCULA DE POLIÉSTER INSATURADO	28
FIGURA 3 – ESTRUTURA MOLECULAR RESINA ÉSTER-VINÍLICA	31
FIGURA 4 - FLUXOGRAMA PIGMENTOS INORGÂNICOS	33
FIGURA 5 - PULVERIZAÇÃO DO GEL COAT COM SISTEMA AIRLESS.....	38
FIGURA 6 - APLICAÇÃO GEL COAT COM CANECO INVERTIDO	38
FIGURA 7 - BLISTER NO GEL COAT	39
FIGURA 8 - ENRUGAMENTO DO GEL COAT	40
FIGURA 9 - DESPLACAMENTO DO GEL COAT	41
FIGURA 10 - DELAMINAÇÃO DO GEL COAT	42
FIGURA 11 - LAMINAÇÃO MANUAL	43
FIGURA 12 - LAMINAÇÃO À VÁCUO.....	44
FIGURA 13 – PROCESSO DE INFUSÃO A VÁCUO: (A) ANTES DA INFUSÃO (B) DEPOIS DA INFUSÃO	44
FIGURA 14 - DURÔMETRO BARCOL	49
FIGURA 15 - DURÔMETRO SHORE.....	50
FIGURA 16 - ÂNGULO DE CONTATO DO PROCESSO DE MOLHABILIDADE	51
FIGURA 17 - DIAGRAMA DE GOTAS COM DIFERENTES ÂNGULOS DE CONTATO.....	52
FIGURA 18 - GONIÔMETRO RAMÉ-HART	52
FIGURA 19 - INTERFACE PROGRAMA PARA ANÁLISE DO ÂNGULO DE CONTATO.....	53
FIGURA 20 - EQUIPAMENTO PARA TESTE DE OSMOSE.....	54
FIGURA 21 - EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR ENGELHARD	54
FIGURA 22 - APARATO PARA ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	55
FIGURA 23 - PINTURA POLIÉSTER DO COSTADO SCHAEFER 303	57
FIGURA 24 - SCHAEFER 365.....	57
FIGURA 25 - CONTRAMOLDE ESCADA DE POPA	59
FIGURA 26 - CERA DE CARNAÚBA (A) E ÁLCOOL POLIVINÍLICO (B)	60
FIGURA 27 - DIVISÃO DO MOLDE PARA PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS.....	60
FIGURA 28 - MODELAGEM DA CONFIGURAÇÃO DAS AMOSTRAS	61
FIGURA 29 - REGULAGEM INICIADOR GELCOATEADEIRA	61
FIGURA 30 - MEDIÇÃO DA ESPESSURA DO GEL COAT	62
FIGURA 31 - PREPARAÇÃO GEL COAT PRETO.....	63

FIGURA 32 - APLICAÇÃO DO GEL COAT	64
FIGURA 33 - MANTA 450 G/M ²	65
FIGURA 34 - LAMINAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	65
FIGURA 35 - REPRESENTAÇÃO DAS CAMADAS NA PINTURA COM TINTA POLIÉSTER	66
FIGURA 36 – AMOSTRA EM GEL COAT SEM ACABAMENTO	67
FIGURA 37 – AMOSTRAS PARA TESTE DE DUREZA SHORE.....	68
FIGURA 38 - DURÔMETRO WOLTEST SD 300.....	68
FIGURA 39 - INDENTADOR SHORE-D DIGITAL GS-720.....	69
FIGURA 40 - DURÔMETRO BARCOL UTILIZADO	70
FIGURA 41 - DISCOS METÁLICOS PARA CALIBRAÇÃO DO DURÔMETRO BARCOL	70
FIGURA 42 - BALANÇA ANALÍTICA METTLER TOLEDO XS205 DUAL RANGE	71
FIGURA 43 - AMOSTRA PARA TESTE DE OSMOSE	71
FIGURA 44 - APARATO EXPERIMENTAL PARA TESTE DE OSMOSE UTILIZADO	72
FIGURA 45- GONIÔMETRO RAMÉ-HART 250 G/T	73
FIGURA 46 - CORPO DE PROVA PARA TESTE DE MOLHABILIDADE	74
FIGURA 47 - FILME DE PVA RESIDUAL SOBRE O MOLDE.....	83
FIGURA 48 - IRREGULARIDADE INTERFACE GEL COAT	84
FIGURA 49 - DEFORMAÇÃO VISÍVEL AMOSTRA 4	84
FIGURA 50 – COMPARATIVO DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DE GOTA.....	85

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - QUANTIDADE TOTAL DE ÁGUA ABSORVIDA	80
GRÁFICO 2 - COMPARATIVO ABSORÇÃO DE ÁGUA	81
GRÁFICO 3 - QUANTIDADE TOTAL ABSORVIDA EM %	82

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: RELAÇÃO: COMPONENTES E CARACTERÍSTICAS	30
TABELA 2 - IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS	58
TABELA 3 - MEDIÇÃO: TESTE DE DUREZA BARCOL.....	76
TABELA 4 - DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT PARA O TESTE BARCOL.....	77
TABELA 5 - EFEITOS DA VARIAÇÃO DO CATALISADOR.....	78
TABELA 6 - MEDIÇÃO: TESTE DE DUREZA SHORE	78
TABELA 7 - DISTRIBUIÇÃO DE T DE STUDENT PARA O TESTE SHORE-D	79
TABELA 8 - DADOS ESTATÍSTICOS ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	82
TABELA 9: DADOS GONIÔMETRO AMOSTRA 1.....	86
TABELA 10 - DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT PARA TESTE DE MOLHABILIDADE	86
TABELA 11 - ANÁLISE DE CUSTO: PROCESSO ATUAL	87
TABELA 12 - ANÁLISE DE CUSTO: PROCESSO SUGERIDO	88

LISTA DE ABREVIATURAS

ABMACO – Associação Brasileira de Materiais Compósitos

ASTM – *American Society for Testing Materials*

MEKP – Metil-Etil-Cetona

NPG – Neo Pentil Glicol

PCP – Planejamento e Controle de Produção

PRFV – Plástico Reforçado com Fibra de Vidro

PVC – Policloreto de Vinila

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	16
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	17
2	CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM MATERIAIS COMPÓSITOS.....	18
2.1	MATERIAIS COMPÓSITOS	18
2.2	CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM PRFV	18
2.3	FABRICAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS MOLDES	19
2.3.1	<i>Agentes Desmoldantes</i>	20
2.3.1.1	<u>Agentes Desmoldantes Convencionais</u>	20
2.3.1.2	<u>Agentes Desmoldantes Internos</u>	21
2.3.1.3	<u>Agentes Desmoldantes Semipermanentes</u>	21
2.4	APLICAÇÃO DE GEL COAT	22
2.4.1	<i>Tipos de Gel Coat</i>	23
2.4.1.1	<u>Ortoftálico</u>	23
2.4.1.2	<u>Isoftálico</u>	23
2.4.1.3	<u>Isoftálico com NPG</u>	23
2.4.1.4	<u>Gel Coat para Molde</u>	24
2.4.1.5	<u>Primer</u>	24
2.4.1.6	<u>Éster-Vinílico</u>	24
2.4.1.7	<u>Parafinado</u>	24
2.4.2	<i>Principais Características do Produto</i>	25
2.4.3	<i>Processos de Obtenção</i>	26
2.4.4	<i>Matriz Polimérica</i>	26
2.4.4.1	<u>Resinas Poliéster</u>	28
2.4.4.1.1	Ácidos Saturados ou modificadores	29
2.4.4.1.2	Ácidos Insaturados	29
2.4.4.1.3	Glicóis	29
2.4.4.1.4	Características dos Ácidos e Glicóis no Gel Coat	30
2.4.4.2	<u>Resinas Éster-Vinílicas</u>	30
2.4.5	<i>Peróxidos</i>	31
2.4.5.1	<u>Peróxido de Metil-Etil-Cetona (MEKP)</u>	32
2.4.6	<i>Pigmentos</i>	32

2.4.7	<i>Cargas</i>	34
2.4.8	<i>Aditivos</i>	35
2.4.9	<i>Agentes Tixotrópicos</i>	35
2.4.10	<i>Métodos de Aplicação</i>	36
<u>2.4.10.1</u>	<u><i>Rolo ou Pincel</i></u>	<u>37</u>
<u>2.4.10.2</u>	<u><i>Pistola</i></u>	<u>37</u>
2.4.11	<i>Principais Defeitos</i>	39
<u>2.4.11.1</u>	<u><i>Osmose</i></u>	<u>39</u>
<u>2.4.11.2</u>	<u><i>Falta de Brilho</i></u>	<u>40</u>
<u>2.4.11.3</u>	<u><i>Enrugamentos</i></u>	<u>40</u>
<u>2.4.11.4</u>	<u><i>Desplacamento</i></u>	<u>41</u>
<u>2.4.11.5</u>	<u><i>Delaminação</i></u>	<u>42</u>
2.5	LAMINAÇÃO	42
2.5.1	<i>Laminação Manual</i>	43
2.5.2	<i>Laminação a Vácuo</i>	43
2.5.3	<i>Infusão a Vácuo</i>	44
2.6	TINTA	45
2.6.1	<i>Resinas</i>	45
2.6.2	<i>Pigmentos</i>	46
2.6.3	<i>Aditivo</i>	46
2.6.4	<i>Solventes</i>	47
2.6.5	<i>Tinta Poliéster</i>	47
2.7	ENSAIOS	48
2.7.1	<i>Ensaio de Dureza</i>	48
<u>2.7.1.1</u>	<u><i>Determinação de Dureza Barcol</i></u>	<u>48</u>
<u>2.7.1.2</u>	<u><i>Determinação de Dureza Shore-D</i></u>	<u>50</u>
2.7.2	<i>Molhabilidade</i>	51
2.7.3	<i>Osmose</i>	53
3	METODOLOGIA	56
3.1	<i>ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ESTALEIRO</i>	56
3.2	<i>PROCESSO DE PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS</i>	59
3.2.1	<i>Preparação do Molde</i>	59
3.2.2	<i>Aplicação do Gel Coat</i>	61
3.2.3	<i>Laminação</i>	64

3.2.4	<i>Pintura Poliéster</i>	66
3.2.5	<i>Acabamento</i>	67
3.3	TESTES.....	67
3.3.1	<i>Teste de Dureza Shore</i>	67
3.3.2	<i>Teste de Dureza Barcol</i>	69
3.3.3	<i>Osmose</i>	70
3.3.4	<i>Inspeção Visual</i>	73
3.3.5	<i>Molhabilidade</i>	73
3.4	ANÁLISE DE CUSTOS	74
4	RESULTADOS E ANÁLISES	76
4.1	DUREZA	76
4.2	ABSORÇÃO DE ÁGUA	79
4.3	INSPEÇÃO VISUAL.....	83
4.4	MOLHABILIDADE	85
4.5	ANÁLISE DE CUSTOS	87
5	CONCLUSÃO	89
	REFERÊNCIAS	91
	APÊNDICE A – TABELA COM DADOS DO TESTE DE OSMOSE.....	94
	APÊNDICE B – TABELA COM DADOS DE GANHO MÁSSICO EM %.....	95
	APÊNDICE C – TABELA COM MEDIÇÕES PROCESSO DE PINTURA	96
	APÊNDICE D – REGISTRO TESTE DE DUREZA BARCOL E SHORE-D.....	97
	APÊNDICE E – PARÂMETROS DISTRIBUIÇÃO T DE <i>STUDENT</i>.....	98

1 INTRODUÇÃO

“O Brasil, por seu clima e suas características geográficas, encerra um dos maiores polos náuticos do mundo” (ACOBAR, 2012, p.10). A expansão da indústria náutica brasileira vem estimulando o desenvolvimento de um mercado especializado e competitivo que atenda às necessidades deste segmento.

A concorrência entre os estaleiros e também de seus fornecedores estimula a busca pela melhoria dos produtos e serviços oferecidos e, ainda, para o nível de exigência dos consumidores. “Hoje, quem configura o mercado industrial é o consumidor, cabendo à indústria fabricar produtos que satisfaçam às suas necessidades” (PERDOMO, 2010, p.01).

Pressionados por clientes mais exigentes e concorrentes que procuram por inovações, os estaleiros precisam atrair consumidores com embarcações que apresentem um excelente acabamento, durabilidade e desempenho. Ao mesmo tempo, a redução dos custos nos processos de produção, eliminando defeitos e desperdícios, tornou-se essencial para que os estaleiros sobrevivam às crises do mercado atual.

Recentemente, notáveis avanços têm sido alcançados na aplicação de compósitos reforçados na indústria naval. Painéis sanduíche, fibra de carbono, processo de infusão e o desenvolvimento de novas resinas e tintas tem aprimorado cada vez mais o processo de fabricação das embarcações de recreio. No entanto, a construção de embarcações em materiais compósitos envolve uma série de etapas que devem ser desenvolvidas cuidadosamente para obtenção de um produto bem-acabado e duradouro. Como parte desses processos destacam-se: escolha dos materiais adequados, fabricação do modelo, preparação do molde, aplicação do gel coat, laminação, desmolde e acabamento.

Apesar do progresso tecnológico na área de materiais, os estaleiros continuam experienciando sérios problemas na utilização do gel coat. A formação de não conformidade resultam em retrabalho, atraso na produção e aumento dos custos. Segundo Nasseh (2011, p.120), “se um estaleiro consegue fabricar peças acabadas em gel coat de uma forma eficiente, é muito provável que sua linha de produção esteja sob controle”.

O gel coat é uma mistura de dispersões de pigmentos, cargas e aditivos em resina poliéster ou éster-vinílica, que pode ser aplicada de diversas formas e com diferentes

finalidades. Uma variedade de formulações pode ser desenvolvida para cada tipo de aplicação, o que propicia ao gel coat sua característica de durabilidade, baixa absorção de água e resistência. O gel coat branco é sem dúvidas o revestimento mais utilizado na produção de barcos e de suas peças. Todavia, outras opções de tonalidade estão disponíveis, permitindo que os estaleiros utilizem o gel coat não somente como camada de proteção, mas também de forma estética, agregando valor ao seu produto.

Outros tipos de revestimento também podem ser utilizados pelos construtores navais, a exemplo das tintas Poliéster, Poliuretanas (PU) e Vinílicas. Essas tintas são aplicadas na peça já desmoldada e requerem um procedimento de aplicação mais complexo quando comparado ao gel coat, pois envolve a preparação do substrato, uso de primer e aplicação de verniz para obtenção do acabamento final desejado. A utilização dessas tintas por alguns estaleiros é justificada pela qualidade no acabamento e possibilidade de pinturas metálicas ou perolizadas.

Neste contexto, o presente trabalho visa analisar a utilização do gel coat e da tinta poliéster no revestimento de materiais compósitos, a fim de apresentar o melhor custo-benefício para os estaleiros de embarcações de recreio. O trabalho contempla também a utilização de diferentes desmoldantes e quantidades de iniciador de reação e sua influência no acabamento das peças desmoldadas.

Serão apresentados através de uma revisão bibliográfica os principais componentes e características dos revestimentos estudados assim como dos agentes desmoldantes e iniciadores de reação. Com os testes de osmose, molhabilidade, dureza e inspeção visual, as propriedades físicas e mecânicas de amostras confeccionadas foram investigadas e seus resultados apresentados. Uma análise de custos entre os processos de aplicação de gel coat e tinta poliéster também foi elaborado com o intuito de avaliar o melhor custo/benefício para o estaleiro.

O estudo contou com o apoio do Estaleiro Schaefer Yachts, da cidade de Florianópolis, SC. Foram elaboradas amostras para estudar a influência de alguns fatores que serão descritos nos capítulos de metodologia e desenvolvimento do presente trabalho.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar as propriedades físicas e mecânicas e o acabamento de peças revestidas com gel coat ou tinta poliéster, bem como a influência do iniciador de reação e dos agentes desmoldantes na peça final.

1.1.2 Objetivos Específicos

Com a finalidade de atingir o objetivo supracitado elenca-se como objetivos específicos:

- a) Obter peças em compósito equivalentes utilizando tipos distintos de pintura;
- b) Comparar a ação dos dois tipos de desmoldantes em termos de ensaio de dureza, molhabilidade, osmose e inspeção visual;
- c) Verificar a influência da quantidade de iniciador sobre as propriedades de dureza, tensão superficial e absorção de água;
- d) Custo-benefício e possibilidade de troca de processo de pintura em alguns cenários;

2 CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM MATERIAIS COMPÓSITOS

2.1 Materiais Compósitos

“Um material composto é um conjunto de dois ou mais materiais diferentes, combinados em escala macroscópica, para funcionarem como uma unidade, visando obter um conjunto de propriedades que nenhum dos componentes individualmente apresenta” (MENDONÇA, 2005, p.03).

Em essência, a tecnologia dos compósitos consiste em dispor fibras de alta resistência mecânica e grande rigidez, na maioria dos casos muito leves e imunes à corrosão galvânica, em orientações pré-determinadas e envoltas por uma matriz, resultando na formação de um componente de elevado desempenho estrutural.

Atualmente a fibra de vidro é o reforço mais utilizado na indústria náutica, juntamente com a matriz polimérica poliéster. O baixo custo aliado a grande resistência à tração e corrosão torna esta combinação de reforço e matriz uma excelente opção.

Em geral, as fibras de carbono, aramida (ou kevlar) e outros tipos de reforços especiais, são utilizados em estruturas sofisticadas para projetos de alta eficiência. Para Nasseh (2007, p.14):

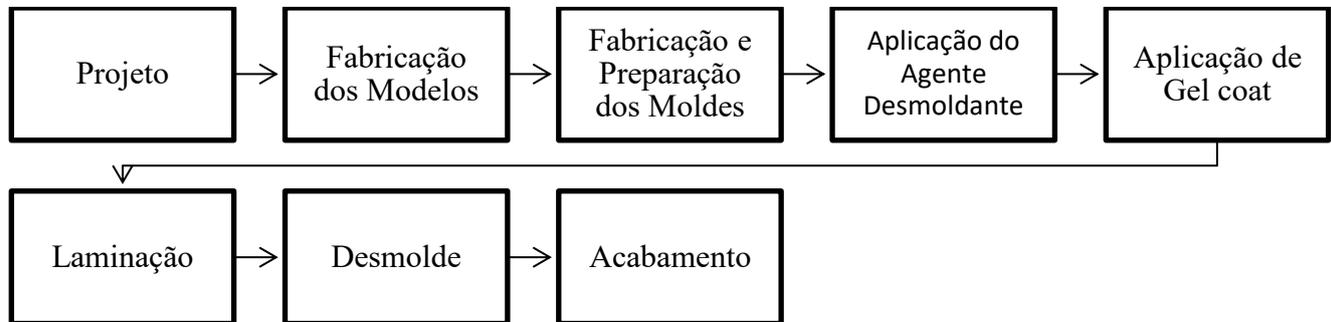
Barcos construídos com fibras de carbono ou fibras de aramida têm um desempenho extremamente superior ao dos barcos construídos com resina poliéster e fibra de vidro, fazendo com que o uso da fibra de vidro seja cada vez mais restrito às aplicações de baixa tecnologia ou onde as fibras de carbono não têm espaço devido ao custo.

2.2 Construção de Embarcações em PRFV

Na construção de barcos, seja um veleiro ou iate, uma série de materiais podem ser utilizados, a exemplo: reforço, resina, agente desmoldante, gel coat, núcleos para sanduíche. Para fazer a escolha do material apropriado, o construtor deve atender aos requisitos do projeto da embarcação. Fatores como o tipo de embarcação, finalidade (por exemplo, alta performance ou lazer), velocidade de operação, dimensões principais e custo fazem parte da tomada de decisão sobre o material que será empregado.

O fluxograma da Figura 1 mostra o processo típico de construção de embarcações em fibra de vidro nos estaleiros de produção seriada.

Figura 1 - Fluxograma Característico do Processo de Construção de Embarcações em PRFV



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Cada fase envolvida no processo de construção de um barco apresenta uma série de condições que devem ser cuidadosamente analisados, para que, ao final da fabricação, obtenha-se uma embarcação com excelente acabamento e livre de defeitos.

2.3 Fabricação e Preparação dos Moldes

Para Nasseh (2011), a preparação minuciosa do molde é de extrema importância, pois não se pode esperar um acabamento impecável de uma peça se o molde não for de boa qualidade. O resultado da pintura da embarcação depende exclusivamente do acabamento superficial do molde. Quanto mais polido e bem trabalhado for a superfície do molde, melhor será a estética da peça laminada, quanto menor for a qualidade, maior será a probabilidade de retoques e retrabalho.

Uma das etapas mais significativas na preparação do molde para aplicação do gel coat consiste na sobreposição dos agentes desmoldantes, que auxiliarão na extração da peça. A atenção na escolha e aplicação do desmoldante determinará se o desmolde do laminado será facilitado, minimizando a produção de defeitos, ou, se necessitará do auxílio de instrumentos como martelo de borracha, injeção de ar comprimido e outras técnicas, que poderão prejudicar o acabamento superficial e causar futuros problemas.

2.3.1 Agentes Desmoldantes

Os agentes desmoldantes são agentes de superfície utilizados para facilitar a extração da peça através da redução da energia superficial do respectivo molde. A aplicação do desmoldante também propicia o aumento da vida útil do ferramental por garantir a proteção das superfícies, evitando o contato entre o compósito e a fôrma.

De acordo com a ABMACO (2008), os agentes desmoldantes podem ser divididos em três famílias:

- Convencionais;
- Internos;
- Semipermanentes.

A escolha do melhor agente desmoldante depende das necessidades de cada processo, assim como das características finais das peças que serão produzidas. De acordo com Nasseh (2011, p.342) “a escolha do agente desmoldante deve ser feita cautelosamente, pois alguns desenvolvem rapidamente um filme de poliestireno sobre a superfície do molde, dificultando a desmoldagem, eliminando o brilho da peça e deteriorando o molde”.

Outro fator importante que beneficiará o processo de desmolde e aumentará a vida útil do ferramental é a correta limpeza de sua superfície, eliminando incrustações, sujeiras e outros, para que se obtenha o melhor desempenho dos desmoldantes. De acordo com a ABMACO (2008, p.229), “os limpadores de moldes recomendados – e especialmente desenvolvidos para a limpeza fina - são solventes líquidos que não agredem a película do gel coat, ou seja, evitam o amarelecimento e a redução da dureza Barcol”.

2.3.1.1 Agentes Desmoldantes Convencionais

A base de cera de carnaúba, os agentes desmoldantes convencionais atuam formando um filme na superfície do molde. A película formada na região de interação do molde e a peça impede a aderência desta na hora do desmolde.

Em geral, os desmoldantes convencionais são formuladas a partir da combinação entre ceras naturais de carnaúba, solventes e outros componentes especiais. “Existem também as ceras desmoldantes indicadas à utilização combinada com álcool polivinílico (PVA), que formam uma camada compatível e suave entre o ferramental e a peça” (ABMACO, 2008,

p.226). A combinação de cera com PVA é indicada para peças na qual a garantia do desmolde é mais importante que seu acabamento superficial. O filme criado pelo álcool poderá deixar marcas na superfície do gel coat e por isso seu uso é limitado. “Filmes devem ser utilizados em áreas de difícil acesso ou locais com muita porosidade no molde” (NASSEH, 2011, p. 371).

Para Fraga et. al. (2008) devido à combinação entre baixo preço e alto rendimento, as ceras desmoldantes apresentam excelente relação custo/benefício, reduzindo as despesas com a limpeza, produzindo peças com excelente acabamento e permitindo intervalos planejados de produção.

2.3.1.2 Agentes Desmoldantes Internos

Baseados em estearatos ⁽¹⁾ e óleos, os agentes desmoldantes internos são adicionados à resina que será aplicada no reforço, propiciando o desmolde através da migração do produto para a superfície do compósito, quando submetidos à temperatura proveniente da reação exotérmica durante o processo de cura da peça.

Todas as vantagens e desvantagens de um desmoldante convencional estão presentes quando se utiliza os desmoldantes internos, somando-se ainda o fato de que eles podem interferir nas propriedades físicas das peças por estarem misturados na resina como se fossem cargas (ABMACO, 2008, p. 227).

2.3.1.3 Agentes Desmoldantes Semipermanentes

Os agentes desmoldantes semipermanentes são baseados em resinas reticuláveis que irão curar sobre o molde, formando um filme seco e protetivo e com ancoragem na superfície do ferramental. De acordo com Fraga et. al. (2008), por conta desta reticulação sobre a superfície, e com a ancoragem sobre o molde, a transferência para as peças moldadas é baixa, proporcionando, desta forma, múltiplos lançamentos e aumento da vida útil do molde.

Para se obter uma peça com acabamento de qualidade e também maior produtividade, é essencial que seja realizada a limpeza da superfície para eliminar detritos, óleos, gorduras ou quaisquer resíduos que possam enfraquecer a ligação química do agente semipermanente,

¹ Estearatos são obtidos através da reação de óxidos ou sais metálicos com o ácido esteárico. São divididos em estearato de alumínio, cálcio, magnésio, potássio, sódio e zinco.

fazendo com que, no processo de desmolde, a película protetora se rompa, ocasionando em maior aderência da peça no molde.

Para as superfícies que irão receber o tratamento com agente desmoldante semipermanente, é recomendado que após a limpeza do ferramental seja aplicado o selador. O selador é um polímero na forma líquida que irá cobrir as microporosidades da superfície, presente nos moldes novos ou recuperados, deixando a superfície mais lisa e com brilho.

Os agentes desmoldantes semipermanentes são produtos que apresentam preços mais elevados em comparação aos desmoldantes convencionais, porém, garantem uma melhor relação de custo/benefício ao usuário.

Em resumo, “os agentes desmoldantes semipermanentes são fáceis de aplicar, proporcionam baixíssimos índices de incrustação, garantem longa vida útil ao molde e alto brilho às peças” (ABMACO 2008, p.230).

2.4 Aplicação de Gel Coat

O gel coat é um produto de formulação complexa e melhor definido como “revestimento de superfície para substratos de compósitos de poliéster reforçados ou não com fibra de vidro” (ORRO, 2008, p.89).

Trata-se da camada mais externa de uma peça, exposta diretamente à ação da água, sol e intempéries. A resistência a esses fatores, ligado ao acabamento superficial e brilho, atribuem a qualidade de um bom gel coat e sua importância no processo de construção de embarcações de recreio.

Com aplicação em materiais compósitos, o gel coat propicia ao produto final um revestimento que além do excelente acabamento e brilho, confere alta resistência aos processos corrosivos e baixos índices de condutividade térmica e elétrica. Orro (2008, p.90) afirma:

As propriedades físicas conferidas a um composto produzido a partir de uma resina poliéster insaturado reforçada com fibra de vidro – ou com outros elementos que também atribuem ao substrato valor estrutural (fibras de carbono, etc.) – têm no acabamento de gel coat a correta afinidade necessária ao compósito final: um produto de baixa densidade e com elevada resistência.

Composto essencialmente de resinas, solventes, cargas, aditivos e pigmentos, a variedade desses componentes possibilita a formulação de diversos tipos de gel coat com diferentes propriedades. Segundo a ABMACO (2008, p. 90) “resinas diferenciadas e utilizadas na fabricação do gel coat também tem importante função na determinação final do requisito

resistência química”, sendo essa matriz um dos principais componentes que irão conferir ao gel coat suas propriedades físico-químicas.

O gel coat é essencial na indústria náutica, sendo aplicado em praticamente todas as peças de fibra de vidro de uma embarcação. Além do revestimento de casco, convés, casaria, também são aplicados em tampas, *liner* interior, gourmet de popa e outros. As variações do gel também são aplicadas nos moldes produzidos, sendo assim, um produto amplamente utilizado e de extrema importância.

2.4.1 Tipos de Gel Coat

Desde gel coat para uso genérico com padrão acabamento, até blendas que atribuem alto desempenho, suas variações são determinadas principalmente pela resina na qual são fabricados. Aditivos e cargas também irão conferir ao gel coat características específicas para aplicação.

2.4.1.1 Ortoftálico

O gel coat produzido a partir das resinas ortoftálicas são utilizadas para uso genérico no acabamento de peças. Apresenta características físico-químicas razoáveis, proveniente das resinas ortoftálicas. Seu uso é justificado pelo custo, devendo ser utilizado em peças que não requerem produtos mais específicos, com um gel coat diferenciado, caso contrário, poderão gerar defeitos e problemas futuros.

2.4.1.2 Isoftálico

Compostos com resina isoftálica, o gel coat Isoftálico possui propriedades mecânicas superiores ao Ortoftálico. Apresenta bom acabamento e alta durabilidade, o que propicia ao gel coat Isoftálico ampla margem de aplicação.

2.4.1.3 Isoftálico com NPG

Gel coat mais indicado para a indústria náutica dado suas características de boa resistência a intempéries e maior resistência à hidrólise, também composto com resina isoftálica, utiliza o Neo-Pentil-Glicol (NPG) na sua formulação, que confere as características

previamente mencionadas. O gel coat Isoftálico com NPG também possui excelente acabamento final e, por isso, é muito utilizado para o revestimento de embarcações de recreio e uso sanitário.

2.4.1.4 Gel Coat para Molde

Produzido com resina éster-vinílica (preferencialmente) ou isoftálica, cargas e aditivos especiais, o gel coat utilizado na fabricação dos moldes deve ser resistente, para garantir o máximo de peças produzidas sem necessidade de paralisação da produção para manutenção da pintura, e com excelente acabamento e brilho superficial, para que as peças tiradas apresentem alta qualidade no acabamento, uma vez que o gel coat da peça reproduz fielmente a superfície do molde. Devido à base éster-vinílica e cargas especiais, possui maior resistência aos solventes, alta temperatura de distorção térmica (HDT), maior alongamento e menor desgaste causado pelo atrito do molde e a peça. Usualmente é fornecida nas cores laranja, verde ou preta.

2.4.1.5 Primer

O primer ou “fundo” é um gel coat produzido a partir de resinas Ortoftálica ou Isoftálica, utilizado para receber outros acabamentos e proporcionar a correta aderência do revestimento sobreposto. Segundo Orro (2008, p. 93) o primer “combina a ação de aditivos e cargas capazes de proporcionar à superfície uma excelente ancoragem, e com a melhor performance de nivelamento livre de bolhas”.

2.4.1.6 Éster-Vinílico

Desenvolvido para ambientes corrosivos devido às características da resina éster-vinílica de elevada resistência química, o gel coat éster vinílico é utilizado principalmente nas indústrias químicas e fabricação de equipamentos submetidos a meios agressivos, tanto ácidos como bases.

2.4.1.7 Parafinado

O gel coat parafinado é idêntico ao gel coat de acabamento, entretanto, possui 10% de parafina sólida de alto ponto de fusão em monômero de estireno ABMACO (2009, p. 20). O gel coat parafinado é muito utilizado no retoque, pois é facilmente lixado.

2.4.2 Principais Características do Produto

A utilização do gel coat deve atender às diferentes necessidades de cada processo e aplicação. Além disso, é fundamental que as principais características do compósito produzido sejam acompanhadas. Assim, o revestimento em gel coat deve obter as seguintes propriedades:

- Resistência as intempéries;
- Resistência química;
- Baixa permeabilidade à água;
- Brilho/Opacidade;
- Resistência aos raios UV;
- Resistência aos riscos;
- Flexibilidade;
- Resistência ao choque;
- Resistência elétrica;
- Estabilidade dimensional.

Para Nasseh (2011, p. 122), “se o construtor pretende conseguir um acabamento “*top quality*” em suas peças, deve instruir corretamente o fabricante do gel coat sobre seu processo de aplicação, qualidade do molde e tipo de desmoldante ou cera”.

Segundo Orro (2008, p. 90):

Não obstante a fantástica performance desta estrutura polimérica, o gel coat ainda confere baixos índices de condutividade térmica e elétrica, somados à alta dureza (Barcol). Conhecidos por suas excelentes características de resistência química, o gel coat tem alto desempenho frente ao intemperismo e aos processos corrosivos de maneira geral.

Nota-se que cada matéria-prima relacionada determina uma propriedade particular, portanto, a formulação correta do produto deve ser acordada entre o construtor e o fabricante, a fim de produzir um gel coat que atenda às necessidades e condições do estaleiro.

2.4.3 Processos de Obtenção

Segundo a Associação Brasileira de Materiais Compósitos - ABMACO (2008, p. 94), o gel coat é produzido a partir da mistura de um ou mais resinas poliéster ou éster-vinílica com agentes tixotrópicos, pastas de pigmentos, aditivos, cargas minerais de alto desempenho, agentes umectantes e estabilizadores que, juntos, são responsáveis pelo produto final.

A produção do gel coat consiste de duas etapas, as quais devem respeitar a ordem de adição de cada componente. A primeira fase é fundamentada na confecção da base do gel coat, também chamada de “pré-gel”, onde são adicionados os materiais sólidos (como cargas) na resina e solvente, para produção de uma pasta homogênea. Na segunda etapa, inclui-se os pigmentos e aditivos, que irão atribuir a cor ao produto e caracterizar o gel coat de acordo com o tipo a ser elaborado.

“A incorporação dos pigmentos com a correta aditivação é necessária para estabilizar diferentes naturezas químicas, assim como para garantir sua boa homogeneização e viscosidade final.” (ORRO, 2008, p. 95). Estes pigmentos, que podem ser orgânicos ou inorgânicos, devem ser escolhidos de forma que as possíveis colorações não utilizem metais pesados, como o chumbo, muito presentes nos pigmentos inorgânicos e gel coat de cores laranja, amarelo e vermelho.

Segundo Silva (2016), durante a produção do gel coat, deve-se ter controle do processo, para verificar a cor, viscosidade e micro dispersão da mistura, para que, caso seja necessário, a cor, viscosidade e o teor de material sólido seja corrigida. Orro (2008, p.95) explica:

Uma vez fabricado, o gel coat deve respeitar as especificações particulares ou padrões de cada transformador e, de maneira geral, garantir características como boa “sprayabilidade”, capacidade de nivelamento final, excelente cobertura e uniformidade na cura, além da tixotropia e viscosidade.

Depois de aprovado, o gel coat é então filtrado para remoção de marco partículas residuais, poeiras ou sujeira e segue para o processo de embalagem e expedição.

2.4.4 Matriz Polimérica

“Os poliésteres insaturados são ésteres complexos formados pela reação de um diálcool (glicol) e um diácido ou anidrido, com a liberação de uma molécula de água” (MOREIRA, 2008, p. 34).

As matrizes poliméricas, também chamadas de resina, podem ser termoplásticos ou termofixos. Os polímeros termoplásticos são aqueles que, ao serem submetidos a um aumento de temperatura e pressão, podem amolecer, tornando-os suscetíveis a deformações, e retornam à rigidez inicial quando resfriados. “Polímeros termoplásticos são caracterizados por possuírem ligações química fraca (Van der Waals) entre as cadeias, assim, podem ser facilmente rompidas com a introdução de energia” (MOREIRA, 2008, p.43). Dessa forma, quando as ligações de Van der Waals são rompidas, há uma maior facilidade para movimentação da cadeia polimérica. “A capacidade das cadeias de fluir, com a aplicação de temperatura garante a esses materiais suas características fundamentais de fácil reprocessabilidade. ” (ABMACO, 2009, p. 13).

Já os polímeros termofixos (ou termorrígidos), quando curados, não irão deformar, mas degradar (queimar) com a elevação contínua da temperatura, impossibilitando seu reprocessamento. A reação dos polímeros termofixos se dá através de ligações cruzadas e tridimensionais, provenientes das ligações químicas primárias (covalentes). De acordo com a ABMACO (2008, p. 43), esse tipo de ligação necessita de altas quantidades de energia para serem rompidas, nas quais também são rompidas as ligações constituintes das cadeias poliméricas, com a consequente degradação (queima) do polímero.

“Quando se projeta a fabricação de uma resina, há todo um planejamento visando obter determinadas propriedades finais. Tudo é planejado, desde as matérias-primas utilizadas, a tecnologia da adição, o uso de reagentes, a temperatura de reação e muitas outras variáveis. ” (NASSEH. 2007, p. 30)

Segundo Moreira (2008, p. 69):

As resinas são apresentadas como líquidos viscosos, permanentemente reativos e de enorme aplicação industrial, desde a forma pura (sem adição de cargas ou fibras de reforço) ou, mais comumente, aplicadas com fibras de reforço. Do ponto de vista da aplicação, as resinas apresentam diversas vantagens devido à baixa viscosidade, baixo custo, facilidade de cura em temperaturas e pressão ambientes.

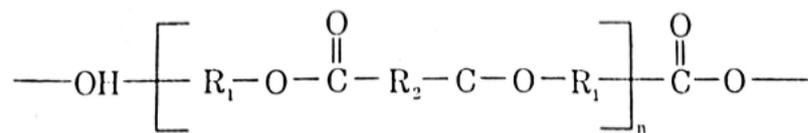
Na composição do gel coat, as resinas são componentes não voláteis responsáveis por aglomerar as partículas de pigmentos e cargas, conferir brilho e dar resistência e durabilidade

ao produto. As resinas mais comuns para formulação do gel coat são as resinas poliéster isoftálica e ortoftálica e resinas éster-vinílicas.

2.4.4.1 Resinas Poliéster

A reação de síntese de um éster é chamada de esterificação, onde um álcool é combinado com um ácido, resultando na formação de um grupo éster e água. Se a reação é processada com um diálcool, também conhecido como glicol, e um diácido, ou seu anidrido⁽²⁾, o produto resultante contará com diversos grupos ésteres, originando o poliéster, conforme a Figura 02.

Figura 2 - Molécula de Poliéster Insaturado



Fonte: LEVY NETO e PARDINI (2006, p.14)

Segundo Nasseh (2007, p. 31):

A estrutura básica de um poliéster insaturado é composta de três componentes: o ácido insaturado que fornece os pontos reativos com ligações duplas, chamados de pontos de insaturação, um glicol, ou bi-álcool, que proporciona o meio para aumentar a cadeia polimérica, e um ácido saturado que determina o grau de espaçamento das moléculas entre os ácidos insaturados.

Devido ao grande número de ácidos e glicóis disponíveis, há uma possibilidade de se obter um grande número de variações de resinas. Entretanto, fatores como custo de matéria-prima e facilidade de processamento reduzem esse número.

² Anidrido: classe de produtos químicos que deriva dos ácidos pela remoção da molécula de água; composto resultante da desidratação de ácidos.

2.4.4.1.1 Ácidos Saturados ou modificadores

Segundo Moreira (2008, p. 47), os ácidos saturados mais utilizados são o Ortoftálico, na forma de anidrido, e seu isômero Isoftálico, dando origem à duas classes de resinas: Ortoftálica e Isoftálica. “Quanto maior a quantidade e quanto maior a proporção de ácido saturado, mais tenaz será a resina de poliéster após polimerizada, e menor encolhimento na cura será observado.” (LEVY NETO e PARDINI, 2006, p. 16).

2.4.4.1.2 Ácidos Insaturados

Para os ácidos insaturados, os mais empregados na composição das resinas são o ácido maleico na forma de anidrido e seu isômero, o ácido fumárico. A presença do propileno glicol faz com que o maleico se transforme no seu isômero fumárico, que possui menor tempo de processamento.

2.4.4.1.3 Glicóis

Os glicóis têm papel fundamental na estrutura da resina. São os glicóis os responsáveis por conferir à resina as seguintes características:

- Flexibilidade;
- Cristalinidade;
- Absorção de água;
- Resistência à temperatura;
- Resistência química.

De acordo com a ABMACO (2008), os glicóis podem ser divididos em dois grupos:

- Glicóis Etilênicos: Monoetileno Glicol (MEG) e Di-Etileno Glicol (DEG);
- Glicóis Propilênicos: Propileno Glicol (PGI), Dipropileno Glicol (DPG) e Neo Pentil Glicol (NPG) Bisfenol A Propoxilado.

Dentre as famílias dos glicóis, os mais utilizados são:

- Etileno Glicol: Apresenta tendência à cristalização por ser uma molécula simétrica;
- Propileno Glicol: Possui cadeia mais ramificada, favorecendo a obtenção de resinas poliéster com menor grau de cristalização e rigidez;
- Neo-Pentil Glicol (NPG): boa resistência às intempéries.

2.4.4.1.4 Características dos Ácidos e Glicóis no Gel Coat

De acordo com a Tabela 01, pode-se verificar as características dedicadas por cada matéria-prima relacionadas às distintas possibilidades de formulações de resinas poliéster e gel coat.

Tabela 1: Relação: Componentes e Características

Matéria-Prima	Características
Anidrido Ftálico	Elevação da resistência a tração e distorção.
Ácido Fumárico	Reatividade mais elevada, alta temperatura de distorção, maior rigidez.
Ácido Isoftálico	Melhora a resistência química à água, maior resistência à tração e flexão.
Ácido Adípico	Flexibilidade a dureza, resiliência, resistência ao choque.
Anidrido Clorídrico	Auto - extingüível.
Anidrido Tetracloroftálico	Alta temperatura de distorção.
Anidrido Tetrahidroftálico	Auto - extingüível.
Propileno Glico	Resistência à água, flexibilidade e compatibilidade com estireno.
Dipropileno Glicol	Flexibilidade e dureza.
Etileno Glicol	Resistência à tração e a temperaturas elevadas.
Bisfenol A Hidrogenado	Resistência a agente corrosivos, alta temperatura de distorção, tração e flexão.
Estireno	Reatividade elevada, boa temperatura de distorção.
Ftalo de Diadilo	Elevada resistência ao calor, baixa volatilidade, rigidez.
Metacrilato de Metila	Estabilidade à luz, boa resistência às intempéries, alta temperatura.
Vinil-Tolueno	Baixa volatilidade, melhor flexibilidade, elevada reatividade.

Fonte: ABMACO (2008, p. 91)

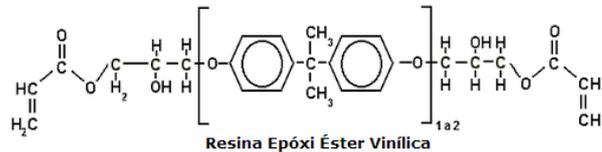
2.4.4.2 Resinas Éster-Vinílicas

Seu nome é derivado de sua estrutura molecular, ou seja, o grupo éster está adjacente a uma ligação vinílica (MOREIRA, 2008, p. 56). É amplamente utilizado em ambientes corrosivos, principalmente na indústria química.

Seu processo de obtenção ocorre primeiramente através da reação entre uma resina Epóxi com Bisfenol A ou F (Novolaca), para o crescimento da cadeia, e após é adicionado um

ácido carboxílico insaturado, o ácido acrílico (ou metacrílico) que funciona como doador de radicais livres éster-vinílicos, demonstrado na Figura 03.

Figura 3 – Estrutura Molecular Resina Éster-Vinílica



Autor: LEVY NETO e PARDINI (2006, p.18)

Após este processo, a resina é diluída com monômeros de estireno até atingir a viscosidade ideal.

As resinas éster-vinílicas possuem algumas vantagens em relação às resinas de poliéster, como a melhor resistência a ataques químicos e maior flexibilidade uma vez que as insaturações estão localizadas nas extremidades da cadeia, onde ocorre as ligações cruzadas, ao passo que nas resinas de poliéster ocorrem ligações cruzadas no meio da cadeia, que restringem a movimentação e a flexibilidade do material, conferindo uma maior rigidez, sendo mais vulnerável a determinados esforços mecânicos.

2.4.5 Peróxidos

Os peróxidos orgânicos são conhecidos como iniciadores de reação, ou, mais comumente chamados de catalisadores. São responsáveis pela reação de polimerização das resinas, concedendo radicais livres ⁽³⁾ que irão romper as duplas ligações dos carbonos insaturados, fazendo com que o elétron livre reaja com outra dupla ligação, formando as ligações cruzadas e constituindo a cadeia polimérica. Uma vez que a reação se inicia, os radicais livres continuarão rompendo as duplas ligações até que reste somente carbonos saturados.

A quebra dos peróxidos para gerar os radicais livres pode ser feita por meio da temperatura ou através de aceleradores compatíveis. Os aceleradores mais usuais são as amins terciárias e os sais de metal pesado, destacando-se o cobalto.

³ Radicais Livres são átomos ou moléculas que possuem um número ímpar de elétrons na última camada eletrônica. Isso o torna instável fazendo com que esteja sempre buscando capturar ou ceder elétrons das células à sua volta.

“Os sistemas de cura a frio mais usados são os peróxidos cetônicos (peróxido de metil-etil-cetona, peróxido de ciclohexanona e peróxido de acetyl acetona) em conjunto com o cobalto, além do peróxido de dibenzoíla, em combinação com amina terciária.” (PONTIFEX, 2008, P. 110).

Segundo Nasseh (2007, p. 43), para curas à temperatura ambiente (18 a 50°C), os iniciadores mais usados são: Peróxido de Metil Etil Cetona (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide- MEKP*), o Peróxido de Acetyl Cetona (*Acetyl Acetone Peroxide – AAP*) e o Hidroperóxido de Cumeno (*Cumene Hydroperoxide - CHP*).

2.4.5.1 Peróxido de Metil-Etil-Cetona (MEKP)

De acordo com Pontifex (2008, p. 112), “o peróxido de MEKP é um produto resultante da reação química entre o peróxido de hidrogênio e metil-etil cetona.”. A reação de fabricação do MEKP é extremamente exotérmica, logo, utiliza-se plastificantes que dissipam o calor, mantendo a reação sob controle.

A solução de metil-etil-cetona é composta de ingredientes ativos, os quais agem sobre a cura da resina ou o tempo de gel, sendo eles:

- Peróxido de Hidrogênio: afeta somente o tempo de gel;
- Monômeros do MEKP: tem pouca influência no gel e grande influência na cura
- Dímeros do MEKP: quase nenhum efeito no gel, mas apresenta grande efeito na cura final.

Destaca-se que apesar de diversas fórmulas padrão estarem disponíveis, a performance do MEKP varia entre os fabricantes. “Cada fabricante produz um tipo de MEKP que reage de maneira diferente do MEKP de outro fabricante” (NASSEH, 2007, p.44).

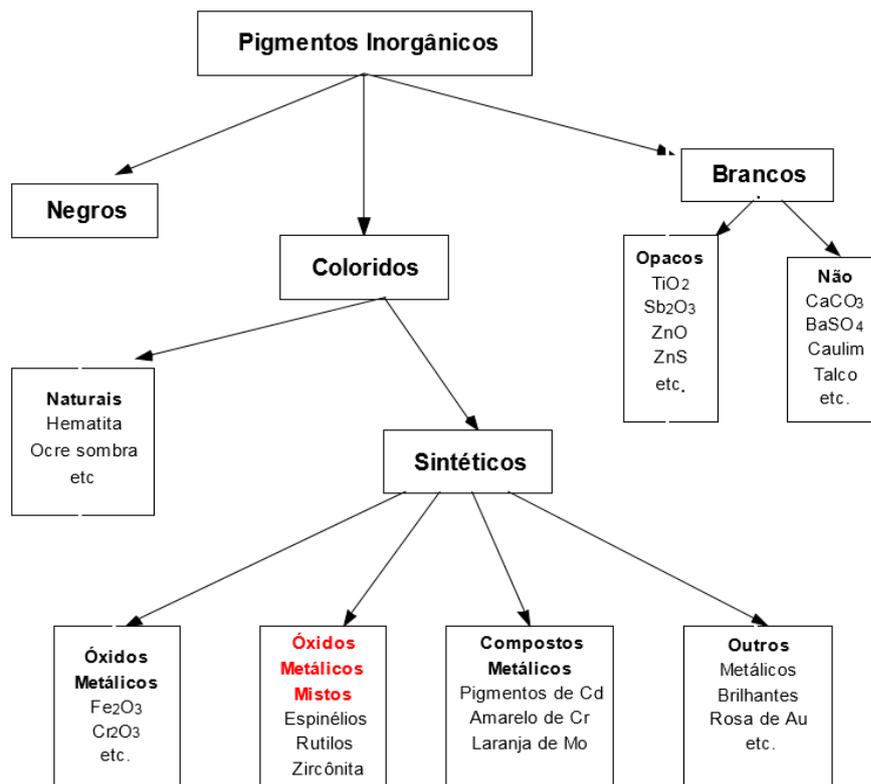
2.4.6 Pigmentos

Segundo Schabbach (2004, p.72), “chama-se pigmento qualquer substância capaz de fornecer cor a um meio em que é insolúvel e com o qual não interage fisicamente nem quimicamente”. Para Vianna (2009, p.18) “pigmentos são utilizados para que o gel coat tenha cor, brilho e um poder de cobertura razoável”. Em complemento, Nasseh (2011) diz:

Embora a maioria dos gel coats sejam fabricados na cor branca, ou qualquer outra pequena variação do branco, gelo ou neve, o gel coat pode ter qualquer cor. A cor final do gel coat é fornecida por um pigmento, que pode ser orgânico ou inorgânico, que no início da fabricação do gel coat é incorporado a mistura base através de uma pasta.

A classificação dos pigmentos, devido à evolução dos processos de síntese e caracterização, proporcionando inclusive o descobrimento de novos pigmentos, acaba se tornando inadequada e sofrendo constantes modificações. Segundo a literatura, uma das classificações de pigmentos mais usuais é embasada na origem da cor, separada em orgânicos e inorgânicos. Os pigmentos inorgânicos são os mais empregados na mistura para obtenção da cor e são descritos no fluxograma da figura 4.

Figura 4 - Fluxograma Pigmentos Inorgânicos



Fonte: Lopez (2001 apud SCHABBACH, 2004, p. 74)

Entretanto, segundo Schabbach (2004, p. 73), o critério de origem da cor não parece adequado do ponto de vista químico e estrutural. Atualmente, considera-se a classificação da Associação de Fabricantes de Cores Secas dos Estados Unidos (*Dry Color Manufacturers Association – DCMA*), que atende às exigências da legislação sanitária do país e requer a

caracterização de todos os pigmentos usados e produzidos em seu território, como a mais apropriada. Esta classificação se baseia em 14 estruturas cristalinas, que são: badeleyta, borato, coríndon-hematita, granada, olivina, periclásio, fenacita, fosfato, priderita, pirocloro, rutilo-casiterita, esfena, espinélio, zirconita (SCHABBACH, 2004, p.74).

Vários fatores devem ser considerados na seleção de um ou mais pigmentos para aplicação no gel coat. Eppler (1997 apud SCHABBACH, 2004, p. 78) expõe que os fatores incluem: a capacidade de coloração, a uniformidade da cor requerida, custos, a compatibilidade com os componentes do sistema usado (suporte, opacificantes, aditivos), a estabilidade térmica e química durante o processo, bem como o tamanho da partícula.

No processo de construção de embarcações de recreio, a cor predominante é a branca, dado suas características de absorvidade⁽⁴⁾, tonalidade neutra e facilidade de compatibilização com o retoque. O pigmento que confere a cor branca à mistura é o dióxido de titânio, disponível em várias purezas e graus de luminosidade. “Procura-se utilizar o dióxido de titânio rutilo, com grau de opacidade bastante grande e resistência à luz superior a um dióxido sem tratamento superficial” (VIANNA, 2009, p. 18). Não obstante, pode-se utilizar outras colorações, como o verde de ftalocianina e azul de ftalocianina para composição do gel coat no revestimento de peças. “Estes produtos têm uma boa solidez à luz e podem ser usados em conjunto com outros pigmentos, embora apresentem maior dificuldade de dispersão de que outros pigmentos” (VIANNA, 2009, p. 18).

2.4.7 Cargas

As cargas são aplicadas às misturas para que o produto obtenha certas características ou por questões econômicas. Para Camatta (2008, p. 201):

Os polímeros termofixos, quando puros, apresentam propriedades que muitas vezes não atendem às especificações técnicas que as peças finais fabricadas a partir deles devem possuir. Propriedades como resistências à tração, compressão, abrasão e à deformação ao calor, entre outras, são aprimoradas através da adição de cargas minerais, tratadas superficialmente e em quantidades adequadas.

⁴ Absorvidade representa a quantidade de radiação incidente que um corpo é capaz de absorver.

Como vantagens, as cargas podem reduzir a contração e a reação exotérmica durante a polimerização, melhora a condutibilidade térmica, diminui os custos de produção e possibilita a obtenção de características como retardamento de chama, opacificantes e agentes reológicos.

Para mistura com gel coat, utiliza-se cargas como microesferas de vidro, que auxiliam no lixamento, sílica pirogênica, também conhecida como agente tixotrópico, que melhoram a tixotropia da mistura e absorção de água, e também pigmentos, como o dióxido de titânio, para obtenção da cor branca do gel coat.

2.4.8 Aditivos

Segundo Santos (2008, p. 179), na indústria dos compósitos, os aditivos são utilizados para melhorar as propriedades, facilitar o processamento, reduzir os custos ou até diminuir a emissão do estireno desprendido durante a industrialização ou no armazenamento da matéria-prima. Cada aditivo tem uma função específica, e deve ser empregado com cuidado. Antes de escolher um aditivo, deve-se analisar a matéria-prima do produto e seus processos para que o aditivo seja compatível.

Os aditivos podem ser classificados de acordo com seus efeitos, a exemplo de aditivos absorvedores de UV, reológicos, desaerantes e antiespumantes, entre outros. Santos (2008, p. 179) ressalta que: “Um aspecto importante com relação aos aditivos é que pequenas quantidades promovem um grande efeito. Na maioria das vezes, as quantidades usadas são extremamente pequenas, variando de 0,1 a 1% em peso sobre as resinas, cargas ou volume total”.

Na aplicação de revestimento em embarcações, alguns aditivos são essenciais para manter a pintura em excelente estado, entre eles destaca-se os estabilizadores da luz UV, que, de acordo com Nasseh (2011, p. 121) é indispensável para evitar que os raios UV ataquem a camada de gel coat e a superfície do barco comece a descolorir ou amarelar.

2.4.9 Agentes Tixotrópicos

Tixotropia é definida por Moreira (2008, p.64) como um comportamento que tem como principal característica a redução da viscosidade do fluido quando submetido ao cisalhamento constante, voltando à sua viscosidade original quando o cisalhamento é interrompido. É importante levar em consideração a diferença entre um fluido tixotrópico e um pseudoplástico. O fluido tixotrópicos demonstra uma diminuição de viscosidade ao longo do

tempo quando sujeito a um cisalhamento constante, ao passo que o pseudoplástico apresenta esta mesma diminuição a uma maior taxa de cisalhamento.

Esse comportamento no gel coat é revelado com a presença de escorrimento quando este é aplicado em superfícies verticais ou inclinadas, tornando a camada não uniforme, com regiões que podem ter excesso ou insuficiência de revestimento, podendo resultar em diversos defeitos.

Para controlar este fenômeno, são adicionados agentes tixotrópicos na composição do gel coat. “Os agentes tixotrópicos são substâncias que, após diluição ou dispersão nas resinas poliéster e éster-vinílicas, têm a propriedade de evitar escorrimento em superfícies verticais ou inclinadas” (MOREIRA, 2008, p.64).

Os agentes tixotrópicos são compostos por partículas de sílica pirogênica (Aerosil® ou Cab-O-Sil®) e argilas organofílicas, que propiciam o ajuste do comportamento reológico ⁽⁵⁾ e também podem conferir características hidrofóbicas, como é o caso do Aerosil.

2.4.10 Métodos de Aplicação

“Todo detalhe é importante quando se pretende fazer uma aplicação eficiente de gel coat, pois muitos problemas associados com este tipo de material são também provenientes de falhas de aplicação” (NASSEH, 2011, p.123). O método de aplicação, assim como a experiência do aplicador, tem influência direta no acabamento da peça final e na produção, ou não, de defeitos. O controle da espessura e a uniformidade do revestimento são referências muito importantes no controle do processo. Para Nasseh (2011, p. 372):

É muito importante garantir uma espessura uniforme da camada de gelcoat. Se esta camada for muito fina em algumas regiões, sua proteção ficará reduzida, sua cura poderá ser insuficiente, a cor menos densa e a ondulação das tramas do laminado poderá ser visível [...]. Se a espessura do gel coat for muito alta, o que acontece em áreas profundas do molde, perto da quilha, ou em áreas do convés e cabine, vai sempre existir a possibilidade de aparecerem trincas na superfície com o tempo.

A aplicação do gel coat no molde ou modelo pode ser feita por pincéis, rolos ou pistola. Sendo o último, o método que resultará numa melhor qualidade superficial da peça em gel coat.

⁵ Reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento da matéria submetida a tensões, sob determinadas condições e ao longo de um intervalo de tempo.

2.4.10.1 Rolo ou Pincel

Segundo Yuzahri (2015, p. 51), a aplicação com pincel é o método mais fácil para revestir o substrato com gel coat, tendo a vantagem de baixa emissão de estireno. No entanto, é difícil obter uma espessura de camada uniforme em toda peça. Marcas deixadas pelo pincel, ou rolo, como estrias, também podem ser um problema no momento da aplicação. Para Nasseh (2011, p. 371) “o processo de aplicação desse produto com essas ferramentas só deve ser utilizado quando se tem uma razão muito boa”.

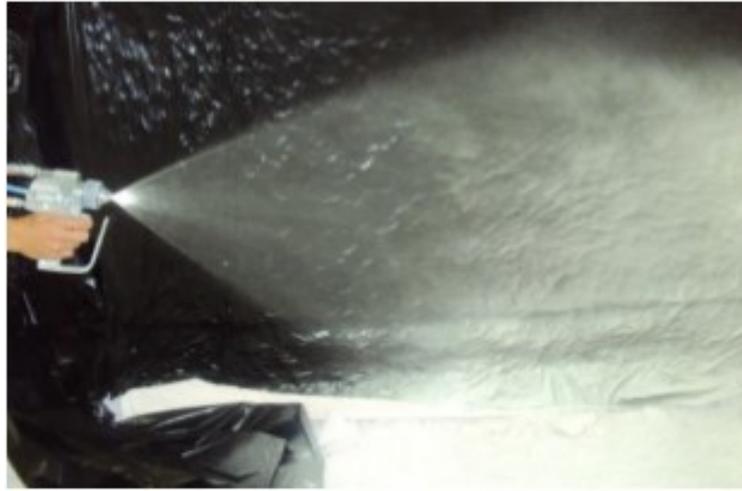
O rolo é utilizado principalmente para produção de peças com extensas superfícies e a fim de atingir um tempo de revestimento relativamente curto. Contudo, nem todo gel coat de consistência para uso com pincel é adequado para aplicação com rolo, e formulações especiais devem ser escolhidas para aplicação em grandes objetos (YUZAHRI, 2015, p.51, tradução nossa).

2.4.10.2 Pistola

Para grandes volumes de produção e melhor acabamento superficial das peças, o método de aplicação por spray é recomendado. Diversas vantagens são obtidas sobre as técnicas de aplicação manual, incluindo maior taxa de produção, uniformidade dos produtos, a utilização de uma maior variedade de moldes e um processo que exige menos horas-homem (SALTZ, 2009, p. 7, tradução nossa).

Segundo Orro (2008, p. 100), na aplicação à pistola, as projeções sobre o molde devem ser realizadas sempre utilizando uma cabine de pintura, cuja dimensão precisa ser suficiente para absorver o molde da peça que será confeccionada com conforto para a operação.

O equipamento usual de aplicação de gel coat por pistola nos estaleiros é o sistema *airless*, conhecido como Gelcoateadeira. Através desse sistema, o gel coat é pressurizado pela mangueira por meio de uma bomba e pulverizado no bico da pistola (ver Figura 5), onde ocorre a mistura com o iniciador (externamente). A regulagem da porcentagem de iniciador pode ser feita no equipamento, o que possibilita o ajuste da quantidade de iniciador dado às condições de temperatura e umidade do local.

Figura 5 - Pulverização do Gel Coat com Sistema *Airless*

Fonte: Serveira (2011, p.51)

Para a produção de peças menores, há também as pistolas de caneco, mostrado na Figura 6, podendo este ser invertido, onde o gel coat é depositado no recipiente (caneco) e misturado com o iniciador, caso a mistura não tenha sido feita previamente. A sucção da tinta é feita pela pressão do ar na mangueira, expelindo a tinta pelo bico da pistola. Em alguns casos o gel coat deve ser diluído para adequar a viscosidade, de forma que ele possa fluir do recipiente até a pistola pela ação do ar, modificando sua formulação e resultando em perda de material.

Figura 6 - Aplicação Gel Coat com Caneco Invertido



Fonte: Nasseh (2011)

2.4.11 Principais Defeitos

Os defeitos gerados pela má aplicação, formulação ou preparação do molde são numerosos. As não conformidades do gel coat resultam em retrabalho, elevação dos custos e até a perda da peça fabricada. Orro (2008, p. 106) relata que nas aplicações de gel coat para o meio náutico, osmose, manchas brancas e descoloração são os problemas mais comuns e estão intimamente ligados a falhas da catálise (excesso ou falta de peróxido), pigmentação inadequada e cargas não adequadas para a presença contínua de água.

A qualidade dos pigmentos utilizados, uma correta catálise durante a operação, a resina utilizada na fabricação do gel e os aditivos a serem considerados são os principais elementos que garantem a longevidade do produto.

2.4.11.1 Osmose

A osmose é caracterizada como a passagem de água através de uma membrana semipermeável entre dois meios de concentrações diferentes, pode ocorrer nos laminados que estão expostos à umidade ou contato direto com a água por períodos prolongados. Falhas no laminado ou superfície do gel coat, percentuais de iniciador inferiores ou superiores aos recomendados que ocasionam problemas no processo de cura e espessura insuficiente, interferem diretamente na capacidade do gel coat de resistir ao contato com a água.

As bolhas na superfície do gel coat decorrentes da absorção de água são chamadas *Blisters*, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - *Blister* no Gel Coat



Fonte: Silva (2016)

A água que penetra a superfície do gel coat se acumula em falhas no laminado e cria uma pressão sobre a camada suficiente para formação de uma bolha entre o gel coat e o laminado.

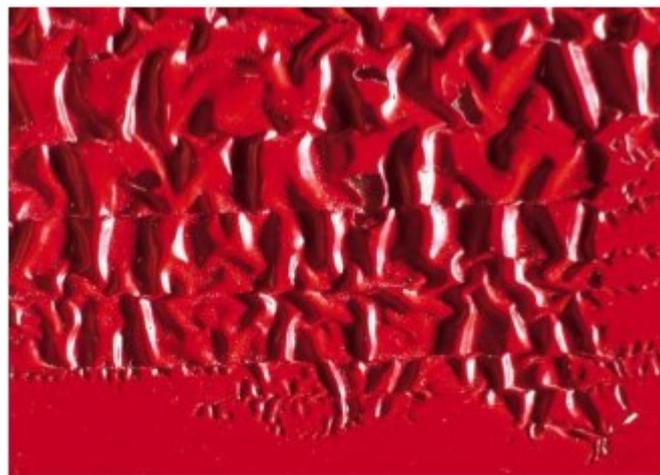
2.4.11.2 Falta de Brilho

Segundo Serveira (2011, p.55), um dos principais fatores responsáveis pela superfície sem brilho é o molde. Um molde maltratado, com cera de má qualidade ou com pontos sem brilho, refletirá na peça desmoldada o defeito relacionado ao brilho do substrato. O gel coat com baixo grau de cura ou filme subcurado também resultará na perda de brilho do revestimento.

2.4.11.3 Enrugamentos

Silva (2016) relata que o enrugamento do gel coat ocorre devido ao ataque de estireno proveniente da resina da laminação, evidenciado na Figura 8. Segundo a ABMACO (2009, p. 44) “o estireno da resina de laminação sempre ataca o gel coat. Aliás, esse ataque é necessário e desejável para aderir o gel coat ao laminado estrutural”. Entretanto, alguns fatores podem fazer com que a camada de gel coat não resista ao ataque do estireno criando deformações.

Figura 8 - Enrugamento do Gel Coat



Fonte: Silva (2016)

A cura insuficiente ou inadequada é um dos fatores responsáveis pelo enrugamento (SERVEIRA, 2011). Um teor de iniciador muito baixo ou temperatura ambiente muito baixa, resultará na cura insuficiente do gel, fazendo com que este não esteja suficientemente curado para resistir ao ataque de estireno. Ao passo que, uma porcentagem de iniciador muito alta fará com que a cura do gel coat ocorrerá de forma inadequada e torná-lo suscetível ao ataque (ABMACO, 2009).

Fatores relacionados ao processo de laminação que causarão o enrugamento envolvem a laminação prematura, uma vez que o gel coat não terá curado até o momento de aplicação da resina, e gel time da resina muito longo.

Por fim, Silva (2016) afirma que a espessura insuficiente da camada também resultará no enrugamento, uma vez que a camada muito fina de gel não resiste ao ataque do estireno.

2.4.11.4 Desplacamento

Segundo Serveira (2011, p. 60) um grande problema enfrentado na construção de embarcações de recreio é o deslocamento precoce do gel coat no molde antes da laminação, ou seja, separação entre o gel coat e o molde antes mesmo da aplicação da resina de laminação.

As causas do deslocamento são variadas, no entanto, os fatores principais estão a porcentagem elevada de iniciador, que resultará na contração do revestimento e consequente deslocamento, assim como o uso inadequado ou aplicação irregular do agente desmoldante.

Figura 9 - Desplacamento do Gel Coat



Fonte: Silva (2016)

2.4.11.5 Delaminação

A delaminação do gel coat é semelhante ao deslocamento, porém é constatada após o desmolde da peça. Tipo ou aplicação de cera incorretos ou agente desmoldante migrando para a superfície do gel coat acarretará na delaminação da pintura. A quantidade alta de peróxido utilizado influenciará na cura do gel coat, podendo causar má aderência deste no laminado, assim como um longo tempo transcorrido antes da laminação.

Figura 10 - Delaminação do Gel Coat



Fonte: Silva (2016)

2.5 Laminação

Seguindo o fluxo de característico do processo de construção de embarcações em PRFV, após o revestimento do molde com gel coat é realizado a laminação da peça.

Segundo Levy Neto e Pardini (2006), a ideia básica do processamento de compósitos estruturais é impregnar o reforço com uma determinada matriz, de tal forma que ao final do processo o componente sólido, com geometria definida, esteja praticamente pronto para ser utilizado. As diferenças nos processos de fabricação de compósitos poliméricos se devem aos processos de transformação físico-química a que estão sujeitas as matrizes durante a fase de moldagem.

As principais técnicas de laminação utilizadas na indústria náutica nos dias de hoje são: Laminação Manual, Laminação a Vácuo e Infusão a Vácuo.

2.5.1 Laminação Manual

Consiste na mais antiga e simples forma de se obter objetos moldados com fibras e resinas. A laminação manual é um processo relativamente simples, porém, necessita de um conhecimento técnico do aplicador para que se obtenha resultados satisfatórios. Suas principais vantagens são: baixo custo de processamento, uma variedade de formas, propriedades mecânicas razoáveis, entre outros. Porém, a laminação é um processo demorado, não reprodutível e que demanda tempo e espaço.

Figura 11 - Laminação Manual



Fonte: Nasseh (2007, p. 157)

2.5.2 Laminação a Vácuo

Da laminação manual para a utilização do vácuo, mostrado na figura 12, obteve-se um significativo avanço no processo de laminação. A qualidade do produto aumenta expressivamente, devido à retirada de resina em excesso no material assim como de bolhas de ar que possam comprometer as propriedades mecânicas da peça. O processo a vácuo depende da capacidade de vedação da área em que será aplicado o vácuo e da potência de sucção da bomba. Com a moldagem a vácuo, pode-se obter compósitos com frações volumétricas de fibras em até 50% e frações volumétricas de vazios inferiores a 5% (LEVY NETO e PARDINI, 2006, p. 173). Como desvantagem desse método apresenta-se a elevação dos custos devido ao material descartável empregado na laminação, como o *peel ply*, bolsa de vácuo e outros, que devem ser renovados a cada peça a ser produzida.

Figura 12 - Laminação à Vácuo

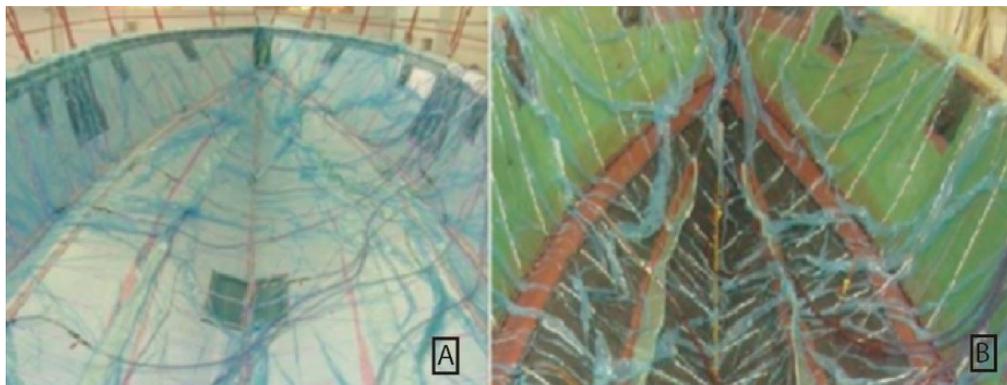


Fonte: Nasseh (2011, p.190)

2.5.3 Infusão a Vácuo

É o processo mais avançado entre os analisados, produzindo embarcações com excelente qualidade. O processo de infusão à vácuo, demonstrado na Figura 13, vem crescendo no setor náutico e apresentando um produto muito superior aos demais processos, principalmente quando comparado ao processo de laminação manual. A pressão na infusão deve ser maior que a pressão obtida na laminação a vácuo, uma vez que é devido à essa diferença de pressão que ocorre a impregnação da resina.

Figura 13 – Processo de Infusão a Vácuo: (A) Antes da Infusão (B) Depois da Infusão



Fonte: Coelho (2011, p. 60)

Entre as vantagens do processo de infusão, destaca-se a redução considerável de resina no compósito, o que propicia uma fração maior de fibras, gerando maior resistência e redução

do peso. Também acarreta numa redução de custos com mão de obra, e problemas relacionados ao contato com resinas e solventes. Porém, esse método requer alguns cuidados e conhecimentos na sua execução, a exemplo do tempo de gel e viscosidade da resina escolhida e a permeabilidade do reforço, para que ocorra a impregnação de toda a peça sob infusão antes da cura, que pode vir a entupir os canais de vácuo e deixar parte da peça sem a matriz polimérica.

2.6 Tinta

Segundo Fantini (2008), o termo “tinta” implica em diversos tipos de materiais, os quais se destinam à proteção e ao acabamento dos mais variados substratos. A utilização de tintas para pintura de materiais compósitos ocorre quando há necessidade de produzir peças com maior resistência química ou com diferentes cores. O processo de pintura consiste na aplicação de um determinado tipo de tinta sobre a superfície do compósito, sendo as mais comuns no meio náutico as tintas poliésteres e poliuretanas. Na construção de embarcações de recreio, a pintura tem como principal objetivo dar um aspecto exterior trabalhado, para que o produto final seja mais atrativo para o cliente, e ainda conferir proteção ao laminado contra ação das intempéries e degradação dado o ambiente marinho.

A composição das tintas pode ser dividida em quatro elementos principais, assim dispostos: resina, pigmento, aditivo e solvente. As tintas podem ser monocomponentes, a exemplo das tintas Poliéster, Alquídicas e Nitrocelulósicas, ou bicomponentes, que é o caso das tintas Poliuretanas e Epóxi.

Segundo Tavares Júnior (2016, p. 19), as pinturas geralmente secam por evaporação de solventes, enquanto o gel coat tem seu processo de cura por intermédio de uma reação química entre o iniciador e a resina. Dependendo da estrutura química ou composição, uma tinta em particular pode usar um ou outro processo ou até mesmo ambos.

2.6.1 Resinas

A resina é o componente não volátil da tinta, que irá conferir as principais características físico-químicas, brilho, dureza, adesão e secagem à tinta. Segundo Fantini (2008, p. 274), “A correta escolha da resina é fator preponderante para o sucesso de uma tinta e, através dela, damos os nomes aos principais grupos de tintas existentes: Alquídicas, Poliuretanas, Vinílicas, Siliconadas, Nitrocelulósicas, Poliésteres, Epoxídicas, entre outras”.

A definição de resina, assim como a obtenção da resina poliéster é descrita na seção 2.4.4 Matriz Polimérica do presente trabalho.

2.6.2 Pigmentos

O pigmento é a parte sólida de uma tinta, responsável por conferir a cor, tingimento e poder de cobertura ou opacidade ao gel coat. De acordo com Fantini (2008), o pigmento pode ser classificado como:

- Cargas: pigmentos inertes, cuja função é conferir o poder de “enchimento” às tintas. São utilizados principalmente em tintas de fundo;
- Coloridos: tem alto poder de opacidade e, por isso, são usados para dar cor às tintas;
- Anticorrosivas: são pigmentos que conferem resistência à corrosão aos substratos, tendo como mecanismo de ação a proteção por barreiras e a proteção química.

Os pigmentos existentes, assim como sua classificação, são explicados na seção 2.4.6 Pigmentos.

2.6.3 Aditivo

Os aditivos são componentes químicos utilizados para conferir propriedades específicas à tinta. Em uma formulação qualquer, raramente o total de aditivo excede a 5% da composição e estes são usualmente divididos por função e não por composição química ou forma física (FAZENDA, 2005, p. 436).

Em geral, os aditivos podem ser divididos em:

- a) Aditivos de Cinética: Secantes, Catalisadores e Antipele
- b) Aditivos de Reologia: Espessantes e Antiescorrimento
- c) Aditivos de Processos: Surfactantes, Umectantes e Dispersantes, Antiespumantes e Nivelantes.
- d) Aditivos de Preservação: Biocidas e Estabilizantes de Ultravioleta.

São usados para que se alcance um melhor desempenho. Entre eles está o trietilfosfato (reduz significativamente a viscosidade do sistema), os absorvedores de UV (melhoram a resistência à luz), desaerantes (reduzem significativamente as bolhas de ar), os agentes nivelantes (ajudam a melhorar a superfície, tornando-a mais lisa e brilhante) e os agentes reológicos (junto com os agentes de tixotropia, aprimoram a característica de não escorrimento)

2.6.4 Solventes

Solventes ou Diluentes são produtos que possibilitam a dispersão de outra substância em seu meio. Em composições de tintas e revestimentos, os solventes são usados para solubilizar a resina e proporcionar uma viscosidade ideal para aplicação da mistura. Segundo a ABMACO (2008, p. 275), o solvente integra a parte volátil de uma tinta, participando da sua composição até o momento da aplicação. O solvente diminui a viscosidade da mistura “resina, pigmento e aditivo”, facilitando o processo produtivo de uma tinta e viabilizando o seu uso.

Fazenda (2005, p. 498) coloca que:

A escolha da mistura adequada do solvente resultará na formação da película de revestimento com propriedades ideais. As propriedades físicas da película seca são diretamente afetadas pelos solventes. Os solventes vão promover a dispersão da resina por toda a superfície, contribuir para o nivelamento, controlar a taxa de evaporação e influenciar parâmetros da aparência final, tal como o brilho.

As tintas de base solvente podem ter várias combinações de solventes como diluente, que podem incluir alifáticos, aromáticos, cetonas, entre outros. Uma vez que o solvente evapora, os componentes restantes ficam fixados ao substrato.

2.6.5 Tinta Poliéster

As tintas à base de poliéster é seguramente uma das tintas mais utilizadas, tanto para compósitos como para a indústria automotiva. “O grande volume de aplicação surgiu com as pinturas metálicas, devido às suas características de secagem e compatibilidade com os pigmentos de alumínio” (FANTINI, 2008, p. 278).

As tintas à base de poliéster são produtos monocomponentes, misturados com pigmentos orgânicos, inorgânicos, aditivos e solventes. Diversos fabricantes fornecem tintas à base de poliéster na viscosidade ideal de aplicação, sem a necessidade de adição de catalisadores ou monômeros, chamadas de “Tinta Pronta”.

A tinta Poliéster apresenta secagem rápida à temperatura ambiente, boa resistência à intempéries e possibilidade de variadas cores, entretanto, apresenta pouco brilho, necessitando a aplicação de verniz.

2.7 Ensaios

É por meio dos ensaios que as propriedades dos materiais em estudo são caracterizadas e avaliadas, devendo o profissional compreender suas medidas e o que elas representam. Consistem em procedimentos padronizados e descritos por normas que reproduzem as condições de serviço.

2.7.1 Ensaio de Dureza

A dureza é uma propriedade mecânica muito utilizada para especificação e comparação de materiais. O conceito de Dureza de um material segundo Callister (2008, p. 114) é definido como “uma medida da resistência de um material a uma deformação plástica localizada, por exemplo, a uma pequena impressão ou a um risco”.

O teste de dureza pode ser realizado por meio de diversos métodos, como Brinell, Vickers e Rockwell, que utilizam equipamentos de penetração apropriados para determinação da dureza de aços e metais, sendo diferenciados pela forma do penetrador e da carga aplicada. Para os materiais polímeros, elastômeros e metais de maior ductilidade, dispõe-se dos testes Barcol, IRHD e Shore. Indicados para avaliação da dureza das pinturas em estudo, esses últimos serão descritos com mais detalhes a seguir.

2.7.1.1 Determinação de Dureza Barcol

A dureza da superfície de plásticos reforçados ou não-reforçados também pode ser determinada pelo uso do Durômetro Barcol. A profundidade de penetração da indentação ⁽⁶⁾ fornece uma medida comparativa da dureza do material.

O Durômetro Barcol, mostrado na figura 14, é um equipamento portátil sendo adequado para o teste de dureza de peças fabricadas e amostras, com objetivo de controle da produção.

⁶ Para metalurgia, indentação é definida como sendo a marca feita pelo penetrador do durômetro na peça em que está sendo realizado o ensaio de dureza.

Figura 14 - Durômetro Barcol



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

O teste de Dureza Barcol tem como base a norma ASTM D 2583 - *Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impresser*.

A calibração do Durômetro deve ser realizada utilizando dois discos metálicos com dureza conhecida fornecidos pelo fabricante do Durômetro. A calibração é feita através da regulagem do guia do êmbolo interno, para que os valores obtidos no indicador estejam de acordo com a dureza do disco. A norma recomenda também que se faça a calibração medindo a dureza de uma superfície de vidro, onde o indicador deve mostrar 100 unidades Barcol.

O número de leituras também é um fator importante no processo de medição. A aplicação do Durômetro pode produzir algumas variações nas medições, sendo necessário que seja feito uma série de leituras a fim de obter um resultado mais preciso. Segundo Moreira (2008, p. 141):

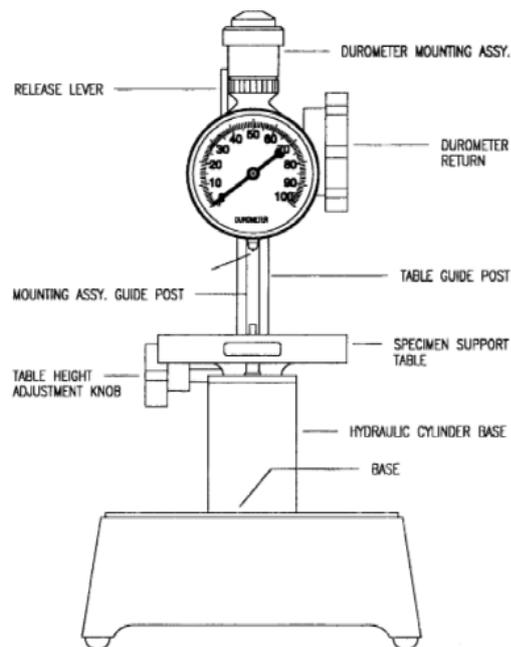
A aplicação do impressor Barcol em materiais plásticos reforçados produz maior variação nas leituras de dureza do que em materiais não reforçados. Essa maior variação deve ser causada forçosamente pela diferença de dureza entre a resina e o material de enchimento (fibra) em contato com o pequeno diâmetro do entalhador. Variações menores nas leituras de dureza ocorrem em materiais duros no intervalo de 50 Barcol e maiores. E consideravelmente a maior variação nas leituras ocorre em materiais moles.

Assim, de acordo com a ASTM D2583, em materiais homogêneos, cinco leituras são necessárias para manter uma variação de média de 0.28 a 60 Barcol. Para uma igual variação de média a 30 Barcol, oito leituras são necessárias.

2.7.1.2 Determinação de Dureza Shore-D

O teste de dureza Shore permite mensurar a dureza do material através da indentação inicial e/ou indentação final após um período de tempo. Possui 12 tipos de variações, sendo eles: A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S e R. Há diferenças entre os tipos que envolvem diferentes indentadores, molas, suportes e outras especificidades. As escalas A e D são as mais utilizadas. Segundo Moreira (2008, p.138), “o teste de dureza Shore D é recomendado para obtenção da dureza de plástico rígido reforçado e não reforçado, usando impressor Shore D”.

Figura 15 - Durômetro Shore



Fonte: ASTM D2240 (2003)

O material é submetido a uma pressão definida aplicada através de uma mola calibrada que atua sobre o indentador, que pode ser esférico ou cônico. Um dispositivo de indicação fornece a profundidade de endentação. O valor da dureza é dado pela profundidade da penetração no material sob teste. Por causa da resiliência de algumas borrachas e plásticos, a

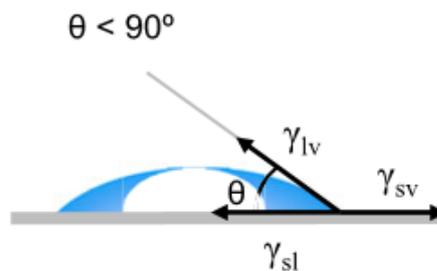
leitura da dureza pode mudar ao longo do tempo, por isso o tempo de endentação às vezes acompanha o valor medido da dureza.

O teste de Dureza Shore tem como base a norma ASTM D 2240 - *Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness*. De acordo com a norma, o ensaio Shore A é recomendado para medição da dureza de borrachas moles e plásticos semirrígidos. Já a escala D é recomendada para medição de borrachas duras, plásticos semirrígidos e rígidos.

2.7.2 Molhabilidade

Para analisar a característica de hidrofobia de um material, o conceito de molhabilidade é utilizado. A molhabilidade de um material consiste na interação intermolecular entre uma superfície sólida e um líquido quando os dois são colocados em contato. Segundo Yuan e Lee (2013), quando uma gota de líquido é depositada sobre a superfície do sólido, a forma com que a gota adota é resultado do efeito simultâneo de três forças: a tensão superficial da interface sólido-vapor γ_{sv} , a tensão superficial da interface líquido-vapor γ_{lv} e a tensão superficial da interface sólido-líquido γ_{sl} , definindo-se o ângulo de contato θ como o ângulo entre γ_{lv} e γ_{sl} , conforme é mostrado na figura 16.

Figura 16 - Ângulo de Contato do Processo de Molhabilidade



Fonte: Yuan e Lee (2013, p. 04)

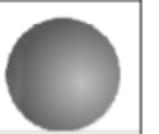
Assim, Yuan e Lee (2013) descreve que quando um líquido é colocado sobre uma superfície sólida assumindo forma de gota, seu ângulo de contato com a superfície relaciona-se com aquelas tensões através da equação de Young, descrita na equação 1, onde θ pode variar de 0 a 180°.

$$\gamma_{sv} - \gamma_{sl} = \gamma_{lv} \cos \theta \quad (1)$$

O lado esquerdo da equação é um parâmetro de adesão, que descreve a tendência de um líquido se espalhar sobre a superfície do sólido, isto é, a molhabilidade. Um líquido molha completamente a superfície se $\theta = 0^\circ$ e não molha a superfície quando $\theta = 180^\circ$.

A medida do ângulo de contato θ possibilita a classificação dos materiais quanto à sua hidrofobia, os quais podem ser Super-Hidrofílicos, Hidrofílicos, Hidrofóbicos e Super-Hidrofóbicos, que podem ser verificados na figura 17.

Figura 17 - Diagrama de Gotas com Diferentes Ângulos de Contato

Regime	Super-hidrofílico	Hidrofílico	Hidrofóbico	Super-hidrofóbico
Diagrama da gota				
Ângulo de contato	$\theta < 10^\circ$	$\theta < 90^\circ$	$\theta > 90^\circ$	$\theta > 150^\circ$

Fonte: Marmur (2012)

Atualmente existem equipamentos capazes de calcular o ângulo de contato de um líquido com uma superfície por meio de imagens, como é o caso do goniômetro, cuja imagem pode ser vista na figura 18.

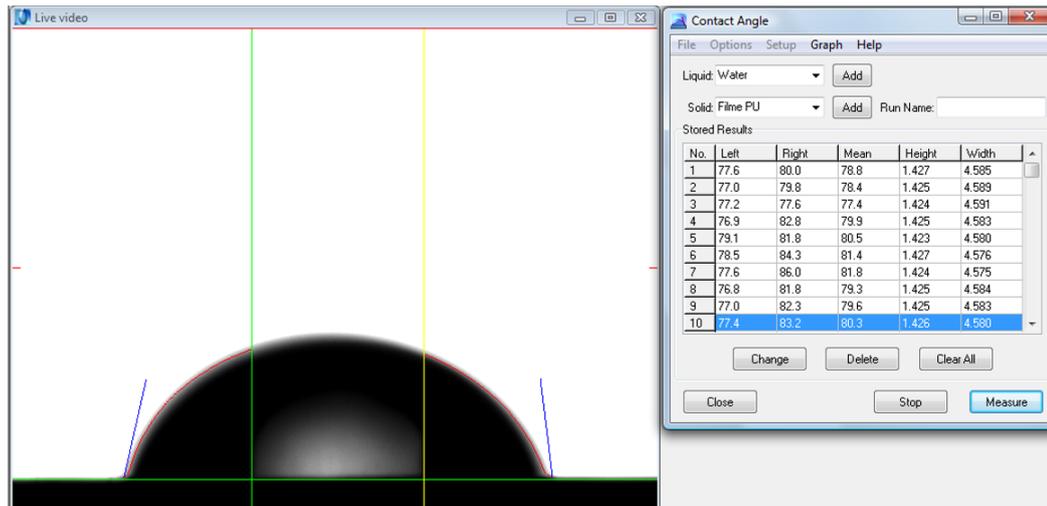
Figura 18 - Goniômetro Ramé-Hart



Fonte: Yuan e Lee (2013, p. 07)

O funcionamento do goniômetro consiste basicamente na captura da imagem da gota sobreposta ao material sólido por meio de um microscópio, conforme a figura 19. Essa imagem é tratada por um programa, a exemplo do *DROPimage Features*, que faz a medição da tensão interfacial e ângulo de contato por análise das imagens.

Figura 19 - Interface Programa para Análise do Ângulo de Contato



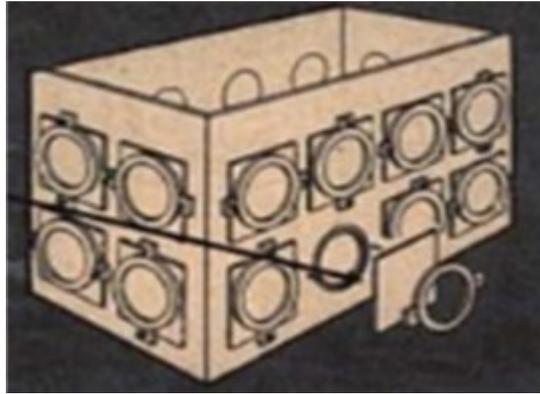
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Através dos valores de θ fornecidos pelo programa, pode-se inferir o regime no qual o material se encontra, como hidrofóbico ou hidrofílico, e analisar a sua molhabilidade. Essas informações podem ser utilizadas para avaliar uma tinta ou pintura quanto à sua capacidade de repelir a água e conseqüentemente questões referentes à absorção de água do material.

2.7.3 Osmose

A caracterização dos materiais quanto à sua capacidade de absorver água durante um período exposto à umidade ou ambiente marinho pode ser feita por meio do teste de osmose. Orro (2008, p. 98) descreve um teste realizado para acelerar a permeabilidade do gel coat onde o laminado é exposto a um contato, no lado que se deseja avaliar, com água à 100°C por 100 horas consecutivas, utilizando o equipamento mostrado na figura 20.

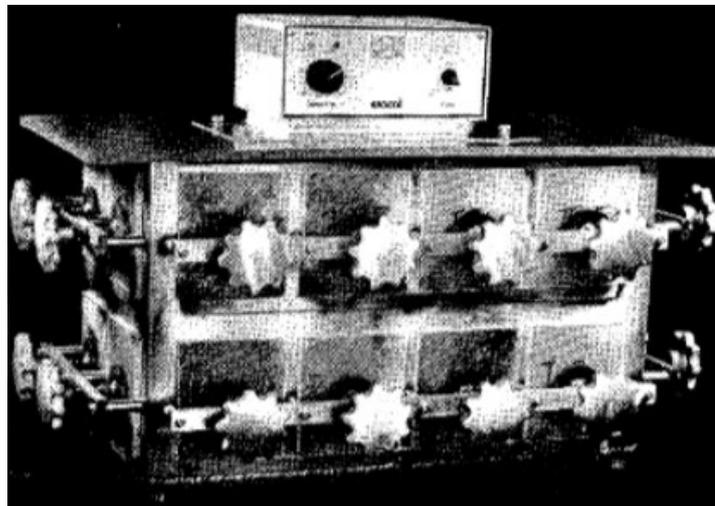
Figura 20 - Equipamento para Teste de Osmose



Fonte: Orro (2008, p. 99)

Washabaugh (1990 apud TAVARES JÚNIOR, 2016, p. 36), realizou um ensaio por 1150 horas, avaliando o grau de formação de bolhas no laminado, com uma escala variando de 0,0 (sem formação de bolhas) a 3,0 (severa formação de bolhas), em laminados revestidos com gel coat, com diferentes pigmentos e resinas, através de um aparato construído por Engelhard, conforme a figura 21.

Figura 21 - Equipamento para Ensaio de Absorção de Água por Engelhard

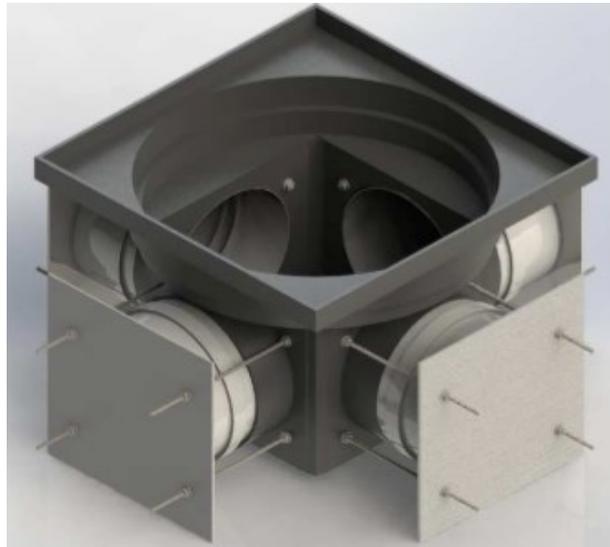


Fonte: Washabaugh (1990, apud TAVARES JÚNIOR, p. 37)

Devido aos altos custos e pouca variedade de equipamentos disponíveis para análise de absorção de água de compósitos revestidos com gel coat, Tavares Júnior (2016) desenvolveu em seu trabalho um aparato feito com estrutura em material polimérico de polipropileno e PVC, que possui resistência à água salgada, destinado ao teste de osmose com baixo custo. O aparato,

que pode ser verificado na figura 22, dispõe de 4 entradas para o contato de amostras com a água.

Figura 22 - Aparato para Ensaio de Absorção de Água



Fonte: Tavares Júnior (2016, p. 54)

Esses equipamentos permitem que a osmose possa ser avaliada de forma qualitativa e/ou quantitativa. Qualitativamente, a absorção de água é evidenciada através de bolhas, comumente chamadas de “*blisters*”. A aparição de *Blisters* na pintura é resultado da permeabilidade do revestimento, que permite com que a água penetre no compósito e cause deformações na superfície decorrente da pressão da água acumulada. Esse acúmulo pode ocorrer tanto na camada de revestimento quanto na interface do substrato. Para Greene (1999, p. 198) ambos os tipos de bolhas são essencialmente problemas cosméticos, embora as bolhas de sub-gel tenham a capacidade de comprometer a integridade do laminado através da ação hidrolítica. Quantitativamente, a absorção de água de laminados revestidos pode ser mensurada pelo ganho mássico do material, no qual a massa adicional é relacionada a massa de água absorvida.

3 METODOLOGIA

No presente capítulo será apresentado a metodologia utilizada para caracterizar os procedimentos de confecção e análise dos corpos de prova elaborados. O método de pesquisa é de caráter científico, uma vez que este fundamenta-se na aplicação prática de um conjunto de procedimentos objetivos, a fim de produzir um novo conhecimento e integrá-lo àqueles pré-existentes. Lehfeld (1991 apud GERHARDT, 2009, p. 31) refere-se à pesquisa científica como sendo “a inquisição, o procedimento sistemático e intensivo, que tem por objetivo descobrir e interpretar os fatos que estão inseridos em uma determinada realidade”.

A pesquisa tem natureza aplicada, que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Sua abordagem é quantitativa, visto que essa trabalha com variáveis expressas sob a forma de dados numéricos, utilizando análises estatísticas como média, desvio padrão, entre outros. Fonseca (2002, p. 20) esclarece que “diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados [...] a pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc.”.

Quanto aos procedimentos, o presente trabalho é experimental, dado que, segundo Gil (2007 apud GERHARDT, 2009, p. 36) “a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

3.1 Análise do Processo de Produção do Estaleiro

O processo de produção das peças seguiu os padrões adotados pelo estaleiro Schaefer Yachts para que fosse reproduzido um corpo de prova idêntico às peças fabricadas pelo mercado náutico e, assim, obter resultados que possam ser considerados para as peças produzidas pelo estaleiro, uma vez que ambas são produzidas da mesma forma.

A fim de comparar os procedimentos de pintura estética e protetiva utilizando gel coat com outros processos distintos de pintura aplicados nos estaleiros de embarcações de recreio, observou-se a linha de produção das embarcações do estaleiro Schaefer Yachts para verificar

quais tintas e procedimentos eram utilizados em caso de pintura do costado ou outras peças. Para tal, acompanhou-se o processo de fabricação das embarcações Schaefer 303, 365, 375, 400, 510 e 640.

Um levantamento feito observou que uma grande porcentagem das embarcações Schaefer 303 produzidas atualmente são entregues com pintura de costado em tinta Poliéster, conforme a figura 23.

Figura 23 - Pintura Poliéster do Costado Schaefer 303



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Constatou-se também que parte das embarcações Schaefer 365 e 375 possuem revestimento do costado em tinta poliéster (ver figura 24).

Figura 24 - Schaefer 365



Fonte: Acervo Schaefer Yachts, 2016

A partir da embarcação Schaefer 400, somente algumas eram fabricadas com algum tipo de pintura. Caso fosse necessário o revestimento, este era feito então com tinta Poliuretana (PU).

Dessa forma, uma vez que a maior demanda de embarcações do estaleiro baseia-se na Schaefer 303, com produção aproximada de 7 barcos por mês, somado ao fato de que a tinta Poliéster é a mais utilizada, definiu-se então fazer a comparação do gel coat e a tinta Poliéster.

Para o estudo da influência no acabamento pelo desmoldante, foram comparados os agentes desmoldantes semipermanente (desmoldante mais utilizado para o tratamento dos moldes do estaleiro) e a combinação de cera de carnaúba com álcool polivinílico.

Segundo os padrões da Schaefer Yachts, a Gelcoateadeira (equipamento utilizado para aplicação do Gel coat) é usualmente regulada em 1,5% de iniciador, com exceção dos dias em que as condições climáticas exijam uma porcentagem diferente, a exemplo de temperaturas muito baixas ou umidade muito alta, que retardam a cura do gel ou os deixam muito susceptíveis a escorrimientos e outros tipos de defeito. Sendo 1,5% de iniciador o padrão, optou-se então por variar a porcentagem em $\pm 0,5\%$ para verificar a influência da porcentagem de iniciador na peça produzida.

Portanto, as amostras foram identificadas como segue a tabela 02:

Tabela 2 - Identificação das Amostras

	Acabamento	Quantidade de Iniciador de Reação	Agente Desmoldante
Amostra 1	Gel Coat	1,00%	Semipermanente
Amostra 2	Gel Coat	1,50%	Semipermanente
Amostra 3	Gel Coat	2,00%	Semipermanente
Amostra 4	Tinta Poliéster	-	Semipermanente
Amostra 5	Gel Coat	1,50%	Cera + Álcool Polivinílico (PVA)

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Como o propósito do presente trabalho fundamenta-se na análise do acabamento das peças, a interface entre gel coat branco e o gel coat colorido ou tinta poliéster é relevante para constatar a presença de irregularidades. Portanto, todas as amostras foram produzidas com metade em gel coat branco e a outra metade gel coat preto ou tinta poliéster.

O método consistiu primeiramente na coleta de dados sobre os materiais e processos utilizados, como: tipo de desmoldante, formulação do gel coat, fibra para produção do laminado e respectiva gramatura, resina, método de laminação, ferramentas necessárias para os processos, condições climáticas e descrição detalhada dos procedimentos.

3.2 Processo de Produção das Amostras

3.2.1 Preparação do Molde

A primeira etapa do processo consistiu em escolher o molde a ser utilizado para reprodução dos corpos de prova. Para tal, o ferramental deveria seguir dois requisitos: ser capaz de reproduzir uma peça plana de forma que as amostras pudessem ser utilizadas no aparato experimental para o teste de absorção de água, e a possibilidade de se fazer o tratamento com dois agentes desmoldantes diferentes.

Cumprindo os requisitos previamente mencionados, o estaleiro Schaefer Yachts disponibilizou o contramolde da escada de popa de uma de suas embarcações, que pode ser visualizada na figura 25, para reprodução das peças.

Figura 25 - Contramolde Escada de Popa



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017.

A etapa seguinte compreendeu a limpeza do molde para posterior aplicação do desmoldante. Com o auxílio de um pano limpo, aplicou-se solvente para retirada de gorduras, óleos e quaisquer contaminações. Não houve necessidade de lixamento.

Após a limpeza do ferramental, uma fita crepe foi utilizada para demarcar a área onde seria aplicado os diferentes agentes desmoldante, para então iniciar o tratamento da superfície. Nesta fase, os dois agentes desmoldantes utilizados foram: semipermanente e a combinação cera de carnaúba e álcool polivinílico, conforme a figura 26.

Figura 26 - Cera de Carnaúba (A) e Álcool Polivinílico (B)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

O agente desmoldante semipermanente foi aplicado para o desmolde das amostras de 1 a 4 conforme a lista apresentada na página 60. Previamente à aplicação do desmoldante semipermanente, utilizou-se o selador para eliminar as microporosidades do molde.

A combinação de cera de carnaúba com álcool polivinílico foi utilizado na amostra 5 como é relatado na lista descrita na página 60.

Após a conclusão do tratamento, o molde foi dividido em cinco partes e devidamente identificado, como mostra a figura 27.

Figura 27 - Divisão do Molde para Produção das Amostras



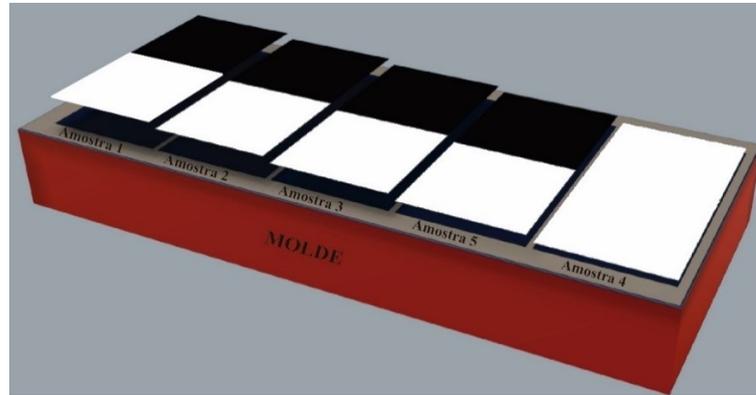
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Com o auxílio de uma fita crepe, foram feitas cinco divisões retangulares com dimensões aproximadas de 210 por 297 mm (tamanho de uma folha A4).

Como as amostras seriam confeccionadas metade em gel coat branco e a outra metade com gel coat preto (ambos Isoftálico com NPG), as amostras 1, 2, 3 e 5 foram novamente divididas com fita para isolar a parte que receberia o gel coat preto. A amostra 4 foi pintada inteiramente de gel coat branco pois o processo de pintura com tinta poliéster trata-se de um

procedimento realizado após a laminação. Primeiramente foi aplicado o gel coat branco e em seguida o gel coat preto, para obter a configuração conforme a figura 28.

Figura 28 - Modelagem da Configuração das Amostras



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

3.2.2 Aplicação do Gel Coat

Obtendo o molde devidamente identificado, isolado e o tratamento com o agente desmoldante concluído, foi iniciado então a preparação dos materiais para aplicação do gel coat no molde.

O primeiro passo consistiu na aplicação do gel coat branco Isoftálico com NPG devidamente homogeneizado. As mangueiras de sucção da Gelcoateadeira foram posicionadas dentro do tonel do gel coat e a porcentagem de iniciador de reação (catalisador) regulada, conforme apresentado na figura 29.

Figura 29 - Regulagem Iniciador Gelcoateadeira



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Após a preparação dos materiais, o gel coat branco foi aplicado no molde seguindo a seguinte ordem:

- 1º) Regulagem do Iniciador de Reação na bomba escrava;
- 2º) Aplicação no vazio para verificar o véu de pulverização e a mistura correta do gel coat e iniciador;
- 3º) Aplicação do gel coat branco na região pré-definida;
- 4º) Aferição da espessura do gel coat com o medidor de espessura (ver figura 30);
- 5º) Caso necessário, nova aplicação de gel coat e aferição para atingir a espessura de 660 μm ;

Na etapa de número 3, o gel coat branco foi aplicado primeiramente na região da amostra 1 com regulagem em 1,0%, posteriormente na região das amostras 2, 4 e 5 com regulagem em 1,5% e por último na região da amostra 3 com regulagem em 2,0%.

Figura 30 - Medição da Espessura do Gel coat



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Após a conclusão do revestimento do molde com gel coat branco, foi preparado o recipiente para aplicação do gel coat preto também Isoftálico com NPG. O gel coat preto, diferentemente do branco, foi aplicado com uma pistola de caneco invertido. As etapas de preparação e aplicação do gel coat preto foram:

- 1º) Despejou-se aproximadamente 300 ml de gel coat preto na caneca (ver figura 31);
- 2º) Mistura do gel coat preto com o iniciador MEKP em porcentagem especificada (1,0% ; 1,5% ; 2,0%);
- 3º) Após aproximadamente 15 min. do término da aplicação do gel coat branco, aplicou-se o gel coat preto no molde, repetindo-se o processo de medição da espessura e aplicação com as outras porcentagens de iniciador.

Figura 31 - Preparação Gel coat Preto



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Para o controle das condições climáticas e acompanhamento da temperatura durante cura do gel coat, uma tabela foi elaborada e preenchida durante os dias de produção das amostras, que consta no Apêndice A. Todas as aplicações foram realizadas por um funcionário responsável pela aplicação de gel coat do estaleiro Schaefer Yachts, conforme a figura 32, para garantir uma correta aplicação do produto. Previamente às aplicações, as condições de Temperatura e Umidade do local foram anotadas.

Figura 32 - Aplicação do Gel coat



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Concluído o procedimento de pintura com gel coat, acompanhou-se o processo de cura do revestimento, medindo em intervalo de 15 minutos a temperatura de cada amostra com um termômetro infravermelho, para assim, obter informações a respeito da cura do gel coat com as diferentes porcentagens de iniciador.

3.2.3 Laminação

Após a cura do gel coat, a peça foi encaminhada para área de laminação. O método escolhido para produção dos corpos de prova foi o método de laminação manual. Seguindo a literatura, foi considerado o percentual aproximado de massa de 30% de reforço e 70% de resina. Em relação ao iniciador, foi seguido o padrão do estaleiro de 1,0% sobre o volume de resina.

Para o reforço foram utilizadas três camadas de manta 450g/m², apresentadas na figura 33 que foram preparadas e cortadas de acordo com a geometria da peça. A manta foi pesada para o cálculo de peso de resina necessária para produzir o compósito.

Figura 33 - Manta 450 g/m²

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Para a preparação da resina, primeiramente mediu-se sua temperatura inicial, do recipiente milimetrado e do molde. Despejou-se então a matriz polimérica no recipiente até que atingisse a proporção em massa de 30% de fibra e 70% de resina.

No processo de fabricação de peças do estaleiro, a primeira camada aplicada no molde é de resina. Após a aplicação da matriz, posiciona-se a manta e então aplica-se uma nova camada de resina com o rolo de lã de carneiro, repetindo o processo para todas as camadas de manta. Com um rolete foi feito a retirada de bolhas do compósito, como mostra a figura 34.

Figura 34 - Laminação das Amostras



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Após todo o processo de laminação concluído, mediu-se a temperatura do compósito em intervalos de tempo de 15 minutos e verificou-se a consistência da resina através do contato dos dedos para averiguar o processo de cura, apesar do método correto para avaliação do tempo de gel e cura da resina ser feita separadamente por um método padronizado, comumente

chamado de “*pot life*”. Com o compósito completamente curado, o laminado foi encaminhado ao setor de rebarba do estaleiro para que fossem feitos os cortes das amostras e rebarbas.

3.2.4 Pintura Poliéster

Na etapa de pintura com tinta poliéster, o primeiro passo é verificar as possíveis deformidades e relevos decorrentes de defeitos no processo de pintura ou incidentes no manejo da peça e então preenchê-los com massa onde necessário. Como a amostra não demonstrou nenhum defeito, não houve a necessidade de preenchimento com massa.

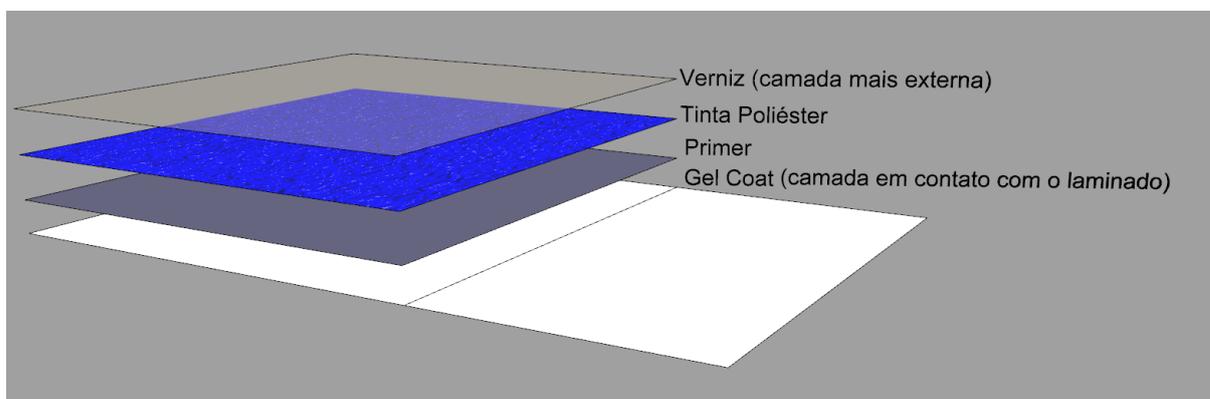
Após a avaliação da superfície, a amostra 4 foi lixada com lixa 220 para aumentar a aderência dos componentes que serão depositados. Em seguida, o corpo de prova foi lavado com solvente e água (mais utilizado pelo estaleiro, entretanto, pode-se utilizar água e sabão), para remoção de gordura e sujeiras na superfície.

A amostra 4 foi então isolada com fita crepe e papel pardo para aplicação do primer (ou tinta de fundo) para correção de defeitos e promover a correta aderência da tinta poliéster. Após a sobreposição do primer, espera-se 24h para a secagem, ou, em caso de necessidade de rápida secagem, pode ser aplicado um acelerador na mistura.

O fundo foi lixado com lixa 320 e posteriormente com 400 e então a amostra foi novamente lavada com água e sabão para retirada de sujeiras da superfície.

Aplicou-se então a tinta Poliéster, que já se apresenta pronta do fornecedor, não necessitando adicionar nenhum outro componente. Após a demão de tinta poliéster, a peça é deixada para secar e então é aplicado o verniz. O esquema de camadas aplicadas para o revestimento em tinta poliéster é representado na figura 35.

Figura 35 - Representação das Camadas na Pintura com Tinta Poliéster



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

3.2.5 Acabamento

O acabamento das peças produzidas envolveu o corte das amostras e lixamento das bordas para retirada da fibra de vidro sobressalente, que podem ser visualizadas na figura 36. Para o acabamento superficial, as amostras produzidas em gel coat tem o processo de acabamento diferente do revestimento em poliéster.

Figura 36 – Amostra em Gel Coat sem Acabamento



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Para os corpos de prova produzidos em gel coat, utilizou-se: lixa 800, 1500 e 3000. Ao passo que, para as amostras com revestimento em tintas poliéster foram utilizadas: lixa 600, 800, 1200, 1500 e 3000. Posteriormente à lixa, a superfície da Amostra 4 foi untada com massa de polir e polida com uma politriz de boina de lã, procedimento utilizado no acabamento de pinturas com tinta poliéster pelo estaleiro. Com isso, as amostras ficaram prontas para etapa seguinte, que consistiu nos ensaios de dureza, osmose e molhabilidade.

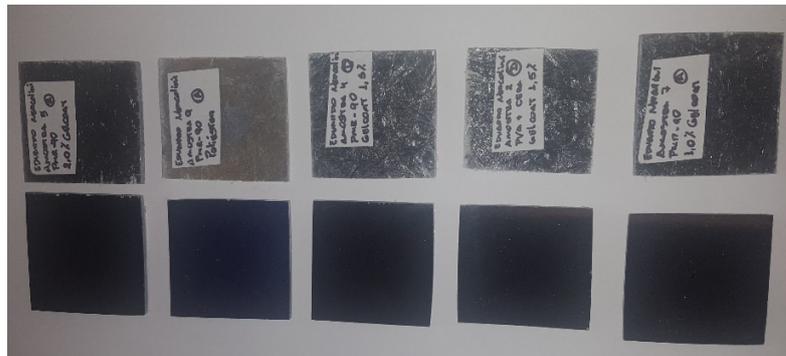
3.3 Testes

3.3.1 Teste de Dureza Shore

Os testes de dureza Shore foram realizados no Laboratório de Propriedades Mecânicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Para a realização dos testes, executados por um responsável, foram produzidas um total de 2 amostras para cada variável com dimensões aproximadas de 40 por 40 mm \pm 0,5 mm cada, onde uma seria utilizada no teste e a outra como reserva em caso de eventuais problemas. As amostras foram devidamente identificadas conforme a figura 37.

Figura 37 – Amostras para Teste de Dureza Shore



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

A identificação das amostras, tanto para o teste de dureza Shore, como para o Barcol, seguiram a relação amostra e número conforme descrito na seção 3.1.

O equipamento utilizado no Laboratório de Propriedades Mecânicas foi o Durômetro Woltest SD 300, conforme a figura 38, com indentador Shore-D Digital modelo GS-702, que pode ser verificado na figura 39.

Figura 38 - Durômetro Woltest SD 300



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

De acordo com a norma da ASTM 2240-03, durômetros de operação manual, como o utilizado no teste aqui descrito, podem causar variações nos resultados obtidos. Assim, a mesma sugere que, para alcançar uma correta reprodutibilidade, usar uma massa que deve ser firmemente fixada ao durômetro e centrada no eixo do indentador. Para os durômetros do tipo C, D e DO, a massa utilizada deve conter 5 kg.

Figura 39 - Indentador Shore-D Digital GS-720



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

A ASTM 2240-03 descreve também que, para os durômetros de operação manual, deve-se fazer 5 medições em diferentes locais da amostra com, no mínimo, 0,6 mm de distância e então calcular a média, ou mediana, dos resultados obtidos.

3.3.2 Teste de Dureza Barcol

O teste de dureza Barcol foi realizado no Estaleiro Schaefer Yachts que dispõe do Durômetro Barcol, mostrado na figura 40, para controle de sua produção.

Figura 40 - Durômetro Barcol Utilizado



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Num primeiro momento, foram avaliadas as amostras e condições para conformidade com a norma ASTM 2583. Para isso, o Durômetro teve de ser calibrado. Utilizando os discos fornecidos pelo fabricante, conforme a figura 41, e uma superfície de vidro como recomenda a norma, o durômetro foi regulado até que fosse atingido os valores pré-determinados.

Figura 41 - Discos Metálicos para Calibração do Durômetro Barcol



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Com uma medição prévia para analisar a faixa de valores nos quais os revestimentos estariam, decidiu-se realizar 8 leituras para obter uma variação pequena dos resultados. As amostras utilizadas para o teste Barcol foram dispostas em uma mesa rígida e fixadas com sargentos para que não houvesse o deslocamento dos corpos de prova durante a medição.

3.3.3 Osmose

O teste de osmose foi realizado entre os dias 26/05 e 17/06 de 2017, totalizando 528 horas de exposição das amostras à água. Os equipamentos utilizados para o ensaio foram uma

balança analítica da marca Mettler Toledo, modelo XS205 *Dual Range*, com precisão de 0,0001 g, que pode ser verificada na Figura 42, e o aparato experimental para testes de absorção de água em compósitos proposto e construído por Tavares Júnior (2016), conforme a figura 44.

Figura 42 - Balança Analítica Mettler Toledo XS205 *Dual Range*



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Devido à restrição de 4 bocais do aparato, apenas as amostras 2 (1,5% de iniciador com agente desmoldante semipermanente), 3 (2,0% de iniciador), 4 (tinta Poliéster) e 5 (1,5% de iniciador com cera desmoldante e PVA) foram testadas. As dimensões dos corpos de prova foram aproximadamente 110 mm de largura e 125 mm de comprimento, para que coubessem dentro da balança de precisão.

Figura 43 - Amostra para Teste de Osmose



Fonte: Elaborado pelo Autor. 2017

Previamente à exposição, todas as amostras foram pesadas para que fosse registrado a sua massa inicial. Após esse procedimento, as amostras devidamente identificadas foram

posicionadas nos bocais dos canos de PVC e fixadas com porcas do tipo borboleta em aço inox com 3 mm de diâmetro, dimensão do arame para fixação.

Figura 44 - Aparato Experimental para Teste de Osmose Utilizado



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

A fim de simular o ambiente marinho ao qual as embarcações estão expostas, o aparato foi preenchido com água do mar, sendo renovado a cada dois dias. Para evitar vazamentos entre a amostra e o cano de PVC, dado à rigidez de ambos, utilizou-se uma fina camada de EVA, cortada no centro na dimensão da abertura do cano.

O intervalo entre as medições de massa dos corpos de prova foi definido em primeiro momento como sendo 2 medições por dia, uma durante o período da manhã, aproximadamente às 9h, e outra no período da tarde, às 17h. Entretanto, após o 6º dia optou-se por fazer somente uma medição às 17h diariamente até o final do experimento. As medições seguiram o mesmo padrão do início ao final, onde o seguinte procedimento foi executado:

- 1º) A água do aparato era transferida para outro recipiente, exceto nos dias em que a água seria renovada;
- 2º) As amostras eram retiradas do aparato e secas com um pano limpo e seco;
- 3º) A balança era calibrada e a temperatura fornecida era anotada;
- 4º) Com a balança devidamente zerada, realizava-se a medição de cada amostra em sequência e os valores de massa eram anotados;
- 5º) As amostras eram realocadas no aparato e o mesmo era preenchido com água do mar.

Ao final do ensaio uma tabela com os dados obtidos foi elaborada, que podem ser conferidos no Apêndice A, e gráficos foram gerados para que a análise e comparação entre as diferentes variáveis pudessem ser feitas.

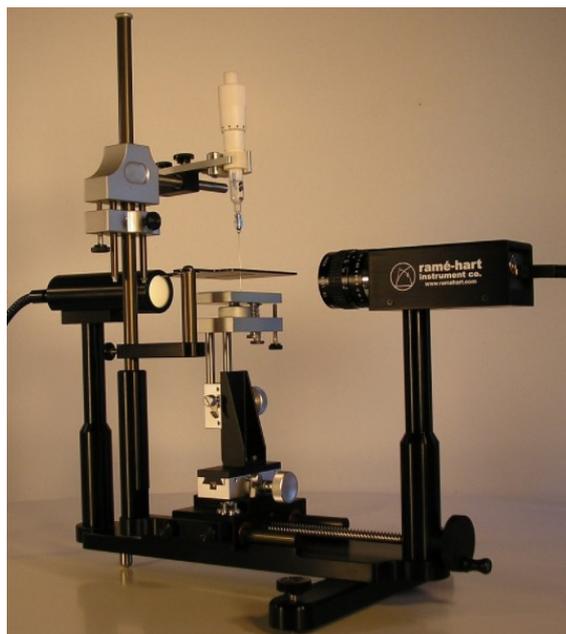
3.3.4 Inspeção Visual

Durante todo o processo, as amostras foram inspecionadas visualmente para verificação de não conformidades. Desde o processo de fabricação, até o final da execução dos testes. Caso um defeito era verificado, o mesmo era registrado. A inspeção visual também auxiliou na análise das amostras quanto ao acabamento, entretanto, este pôde ser melhor caracterizado através do espectrofotômetro.

3.3.5 Molhabilidade

O teste de molhabilidade foi realizado no Laboratório Central de Análises em conjunto com o Departamento de Engenharia Química e de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, na data de 12 de junho de 2017. Através do departamento, pôde-se utilizar o Goniômetro da marca Ramé-Hart modelo 250 Padrão G/T, conforme a figura 45, para o ensaio de molhabilidade das amostras.

Figura 45- Goniômetro Ramé-Hart 250 G/T



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Para a realização do ensaio, cortou-se pequenos corpos de provas com dimensões de 50 mm de largura por 100 mm de comprimento (ver figura 46) das amostras previamente produzidas.

Figura 46 - Corpo de Prova para Teste de Molhabilidade



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Durante a execução do teste, a superfície de cada corpo de prova foi limpa com um pano limpo e seco para retirada de possíveis detritos que pudessem interferir nos resultados. Com o corpo de prova posicionado sobre a base, foi gotejado lentamente com o auxílio de uma seringa própria para o equipamento cerca de 0,01 ml de água destilada sobre o revestimento. Por meio de um microscópio e de um computador, a gota é identificada e sua imagem é gerada no programa específico para a análise. Um total de 10 medições por amostra foram feitas, fornecendo os valores de média do ângulo de incidência da gota com a superfície para posterior análise comparativa. Este teste foi realizado com as Amostras 1, 2, 3 e 4.

3.4 Análise de Custos

A análise de custos hoje é indispensável para as empresas que tem o objetivo de alcançar o máximo de lucro de seus produtos. Para Neto (2008), a análise de custos é uma ferramenta estratégica no processo de tomada de decisões, o que o torna indispensável na execução de tarefas gerenciais, tais como formação de preços, otimização da produção, valorização de estoque, entre outros.

Assim, com o intuito de comparar os procedimentos de pintura em gel coat com a pintura em tinta poliéster, buscando apresentar o melhor custo/benefício para o estaleiro, foi realizada uma análise de custos dos dois procedimentos.

O estaleiro dispõe de um software de gerenciamento utilizado para o setor de compras e de planejamento e controle de produção (PCP), onde os processos são definidos e kits de materiais são elaborados para cada etapa, por exemplo:

- Definição do Processo: laminação do casco da embarcação Schaefer 303;
- Kit de material: quantidade X de fibra de vidro, Y de resina, W de iniciador e todos os equipamentos necessários.

Assim, já era sabido o custo de matéria-prima total para ambos os processos de pintura, sendo apenas calculado a quantidade de tinta necessária para revestir a mesma área de pintura e o custo de homem/hora para execução do trabalho.

Portanto, elaborou-se uma análise de custo para o processo de pintura do costado da embarcação Schaefer 303 com revestimento em gel coat azul ou tinta poliéster da mesma cor. Foi considerado como “Processo Atual”, o revestimento com tinta Poliéster, como é atualmente feito no estaleiro e “Processo Sugerido” o revestimento com gel coat.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Dureza

O propósito do teste de dureza do gelcoat e tinta poliéster no revestimento de embarcações é avaliar qual material possui maior resistência à produção de riscos e pontos de defeito, dado o constante contato da pintura com defensas, decks e as vezes até mesmo com outras embarcações. Durante o processo de produção do barco também há o contato frequente de ferramentas e equipamentos que podem danificar o revestimento.

Os dados do teste de dureza Barcol podem ser averiguados na Tabela 3. De acordo com os valores de média calculados com base na norma ASTM 2583, é perceptível a diferença no resultado de dureza Barcol do gel coat quando comparado com a tinta poliéster. Enquanto o gel coat obteve um valor compreendido entre 47 a 49 Barcol, a tinta Poliéster resultou em uma média de 29 Barcol.

Tabela 3 - Medição: Teste de Dureza Barcol

	Valores em Unidades de Dureza Barcol				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Medição 1	48	48	50	30	47
Medição 2	46	47	49	27	47
Medição 3	46	49	46	30	46
Medição 4	45	48	50	30	46
Medição 5	48	48	48	31	48
Medição 6	49	49	51	26	47
Medição 7	46	48	49	29	47
Medição 8	47	50	50	30	48
Média	47	48	49	29	47

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Essa discrepância entre os dois tipos de pintura pode ser resultante do processo de cura de ambos os revestimentos. Segundo Levy Neto e Pardini (2006), o grau de cura representa um certo nível de ligações cruzadas no polímero termorrígido, onde essa densidade de ligações cruzadas define as propriedades viscoelásticas e mecânicas do polímero. Dado que o sistema de cura do gel coat ocorre por ligações cruzadas com participação de iniciador de reação MEKP e monômero de estireno, que quebram as insaturações e formam as ligações cruzadas, o resultado é um alto grau de cura e formação de uma cadeia polimérica que propicia ao gel coat maior dureza. Ao passo que a tinta poliéster monocomponentes não utiliza iniciador de reação, e o mecanismo de formação da película se dá pela evaporação de solventes, o que resulta em um material de baixa dureza. O excesso ou resíduo de solventes e plastificantes na mistura também influencia na baixa dureza do produto.

Para melhor análise dos resultados, a distribuição t de *student* foi utilizada com um intervalo de confiança de 95%, apresentado no apêndice E. Os valores de média, desvio padrão, limites superior e inferior e erro foram calculados e são apresentados na tabela 4. Como constatado, os valores (em média) de dureza Barcol da amostra 3, que utiliza 2,0% de Iniciador de Reação, é 4,58% superior à amostra 1 e aproximadamente 41% maior que a amostra 4. Quando comparado a amostra 2, que utiliza a porcentagem de iniciador padrão do estaleiro (1,5%), esta demonstrou um valor de média de dureza 39,8% superior à amostra revestida com poliéster.

Os erros constatados na tabela 4 para o intervalo de confiança de 95% são mínimos, na faixa de 1 a 2% comparados à média, com exceção da amostra 4, que apresenta um erro de 3,97% em relação a sua média. Estes erros mínimos demonstram uma uniformidade nas medições, tornando as suposições com base nos valores obtidos aceitáveis, podendo afirmar que a amostra 3 possui o maior valor de dureza e a amostra 4 o menor valor.

Tabela 4 - Distribuição t de *Student* para o Teste Barcol

Distribuição t de Student para o Teste de Dureza Barcol					
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Média	46,875	48,375	49,125	29,125	47,000
Desvio Padrão	1,356	0,916	1,553	1,727	0,756
Limite Superior	47,783	48,989	50,165	30,282	47,506
Limite Inferior	46,875	48,375	49,125	29,125	47,000
Erro	0,9084	0,6137	1,0400	1,1567	0,5063

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

A diferença de dureza Barcol observada entre as amostras com porcentagem diferentes de iniciador pode ser um indício do grau de interligação da resina proveniente do iniciador. Segundo a ABMACO (2009), valores baixos de dureza do gel coat indicam cura inadequada ou insuficiente, o que pode afetar o desempenho da peça. Um material com cura incompleta pode acontecer devido à baixas temperaturas ou escassez de MEKP.

De forma semelhante o mesmo comportamento é descrito na Tabela 5 de Nasseh (2007, p.41), onde a medida que a porcentagem de iniciador (catalisador) aumenta, a dureza do gel coat aumenta, dando credibilidade ao teste realizado.

Tabela 5 - Efeitos da Variação do Catalisador

EFEITOS DA VARIAÇÃO DO CATALISADOR				
% Catalisador	Gel Time (min)	Pico Exotérmico °C	Dureza (45 min.)	Dureza (60 min.)
0,5	29'52"	147	0	0 - 10
0,6	23'28"	153	0 - 15	15 - 20
0,8	17'58"	163	20 - 22	38 - 43
1,0	15'36"	172	30 - 35	45 - 50
1,3	12'15"	182	30 - 35	48 - 53

Fonte: Nasseh (2007, p. 41)

Os valores obtidos no teste de dureza Shore D são descritos na Tabela 6. Foi realizado o mesmo procedimento de análise estatística com distribuição de t de *student* com intervalo de confiança em 95%. De acordo com o teste Shore-D, a amostra 3 obteve maior média de dureza, com 95% de probabilidade de valores entre 83,078 e 84,122 e aproximadamente 5% a mais de dureza quando comparado à amostra 4.

Tabela 6 - Medição: Teste de Dureza Shore

	Valores em Unidades de Dureza Shore				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Medição 1	82	82	84	79	82
Medição 2	81	83	83	80	82
Medição 3	82	83	83	80	82
Medição 4	81	83	84	79	82
Medição 5	81	82	84	79	82
Média	81	83	84	79	82

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

A amostra 4 apresentou a menor média, com valor de dureza igual a 79,4 e limites inferior e superior entre 78,878 e 79,922. Os erros da análise estatística para o teste de dureza Shore-D também foram pequenos, indicando uma constância dos valores medidos. O desvio padrão das amostras foi de 0,548, com exceção da amostra 5, que obteve desvio padrão igual à zero.

Tabela 7 - Distribuição de t de *Student* para o Teste Shore-D

Distribuição t de Student para o Teste Shore-D					
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Média	81,4	82,6	83,6	79,4	82
Desvio Padrão	0,548	0,548	0,548	0,548	0,000
Limite Superior	81,922	83,122	84,122	79,922	82,000
Limite Inferior	80,878	82,078	83,078	78,878	82,000
Erro	0,522	0,522	0,522	0,522	0,000

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Dessa forma, com a análise descrita previamente, há indícios de que o percentual de iniciador no gel coat pode influenciar nas propriedades mecânicas do revestimento, onde o aumento da quantidade de iniciador poderá resultar numa maior dureza. Contudo, como apontado por Silva (2016) altas concentrações de MEKP são grandes produtores de defeitos na pintura, podendo até diminuir a dureza do material em caso de cura inadequada, devendo ser ajustada dentro dos limites recomendados pelos fabricantes, que variam de 1 a 2% em peso de resina.

Neste processo, a amostra fabricada com PVA não demonstrou nenhuma interferência nos resultados que pudesse questionar a influência do agente desmoldante sobre a dureza da superfície, apresentando uma dureza muito semelhante à Amostra 2 em ambas as análises, a qual possui a mesma porcentagem de iniciador na composição.

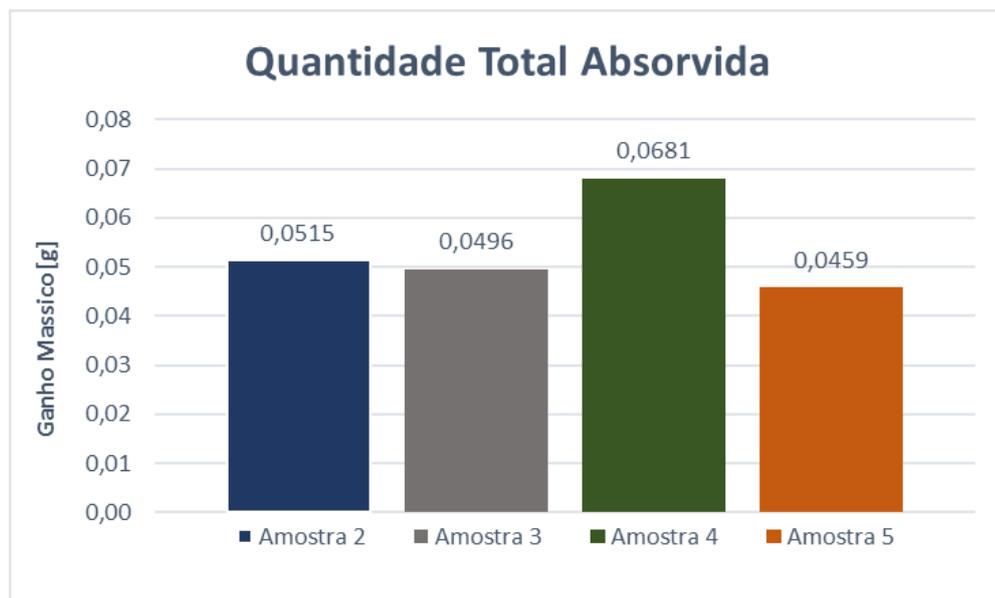
4.2 Absorção de Água

Neste ensaio, as amostras 2, 3, 4 e 5 foram submetidas ao contato direto com a água salgada durante um período total de 528 horas. Com a massa inicial de cada amostra registrada, todos os dias foram feitos ao menos uma medição para constatação do ganho mássico

decorrente da absorção de água do revestimento. Uma tabela com os valores foi gerada contendo os dados de massa de cada corpo de prova em cada medição realizada, que pode ser verificada no Apêndice A.

O Gráfico 1 demonstra a quantidade total absorvida de água por cada amostra ao final das 528 horas de exposição.

Gráfico 1 - Quantidade Total de Água Absorvida



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

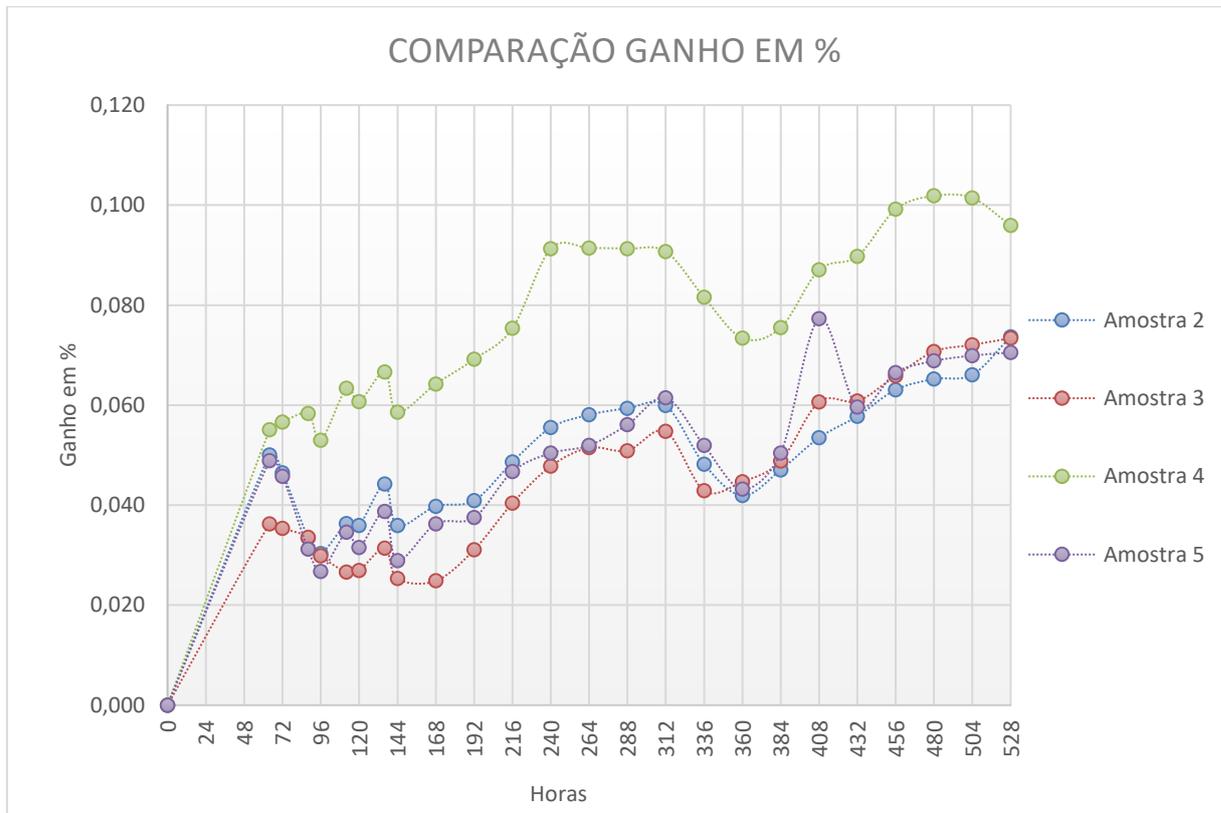
Percebe-se pelo Gráfico 1 que a Amostra 4, revestimento em tinta poliéster, foi a amostra com maior ganho de massa, ou seja, maior absorção de água.

Quando comparado a absorção em função da quantidade de iniciador de reação, a Amostra 2, que possui 1,5% de iniciador na mistura, apresentou maior ganho mássico em relação ao composto produzido com 2,0%. Orro (2008) explica que a qualidade do catalisador e percentuais inferiores ou superiores ao recomendado sempre ocasionam problemas intimamente ligados com o processo de cura e, conseqüentemente interferem na capacidade do gel coat resistir ao contato com a água.

Também foi calculado a porcentagem de aumento na massa de cada amostra, conforme mostrado na equação 2, para elaboração do Gráfico 2 que compara o ganho em porcentagem.

$$\% = \left(\frac{\text{massa medida} - \text{massa inicial}}{\text{massa inicial}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Gráfico 2 - Comparativo Absorção de Água



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Como pode ser verificado pelo Gráfico 2, o ganho mássico em porcentagem da Amostra 4 (Tinta Poliéster) é superior aos demais ao longo do tempo. Logo nas primeiras 72 horas, a Amostra 4 obteve um acréscimo de 0,0567%, ao passo que a Amostra 2 absorveu 0,0465% de água. Nota-se que a amostra 3 apresentou menor absorção em praticamente todo o período de exposição, havendo o aumento na massa após 336 h de exposição à água. Percebe-se também que a Amostra 5 (PVA) teve comportamento semelhante às amostras revestidas com gel coat e desmoldante semipermantes, indicando que o agente desmoldante não tem influência sobre o processo de absorção de água.

O gráfico 3 mostra o ganho mássico total em porcentagem das amostras com revestimento em gel coat ou pintura com tinta poliéster. Ainda que comparadas em porcentagens relacionadas à sua massa inicial, a amostra 4 obteve o maior ganho mássico, com acréscimo de 0,0959%, enquanto as demais amostras apresentaram resultados aproximados, na faixa de 0,07%.

Gráfico 3 - Quantidade Total Absorvida em %



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

A tabela 8 exhibe alguns valores estatísticos para o ensaio de osmose. Com estes dados, pode-se analisar os dados de média de absorção, os máximos e mínimos absorvidos por cada amostra, e o desvio padrão, que demonstra a dispersão dos valores em relação à média de absorção. É notório o comportamento da tinta poliéster em todas as avaliações, que pode ser explicada pela questão do procedimento de cura de cada revestimento. Para Moreira (2008), quanto maior o número de ligações cruzadas e grau de cura, melhores são as propriedades do produto em relação à absorção de água. Os constituintes da mistura também podem apresentar influência na característica hidrofílica dos materiais. A utilização do ácido saturados como o Isoftálico com o NPG, ou determinados aditivos e cargas podem proporcionar um caráter mais hidrofílico ou hidrofóbico à pintura.

Tabela 8 - Dados Estatísticos Absorção de Água

	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Média	0,0020	0,0020	0,0027	0,0018
Máximo	0,0350	0,0245	0,0391	0,0318
Mínimo	-0,0091	-0,0080	-0,0065	-0,0115
Variância	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001
Desvio Padrão	0,0080	0,0058	0,0088	0,0086

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Nesse ensaio fica constatado que a camada de tinta poliéster é mais suscetível à absorção de água que os demais revestimentos. Para melhor constatação quanto a absorção das amostras com diferentes porcentagens de iniciador, os revestimentos deveriam ser submetidos a um maior tempo de exposição para obtenção de dados mais precisos.

4.3 Inspeção Visual

A inspeção visual é o processo mais usual para um controle geral da produção. O acompanhamento e visualização de todas as etapas de construção das amostras permitiu que algumas observações fossem tomadas.

Já no processo inicial, de preparação dos moldes, foi nítida a formação do filme de PVA sobre a superfície que seria pintada. Este filme geralmente é reproduzido pela superfície do gel coat, por isso, esse tipo de desmoldante é recomendado apenas para as peças no qual o fator estético não é importante.

Durante o processo de pintura, também foi percebido a diferença entre as temperaturas e tempo de cura da mistura com 2,0% de iniciador em relação às demais. Moreira (2008, p.71) confirma a constatação através de um gráfico que relaciona a temperatura do gel coat com o tempo de gel, para misturas com 1%, 2%, 3% e 4% de MEKP. Quanto mais iniciador de reação, mais exotérmica é a reação, podendo chegar a um ponto onde a resina irá degradar (queimar).

Após o processo de desmolde, duas constatações foram feitas. Primeiramente, observou-se o filme PVA no molde, como mostra a figura 47 e conseqüentemente na peça.

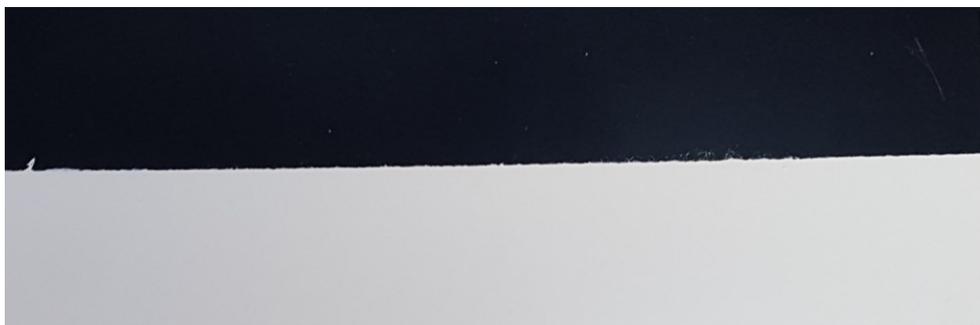
Figura 47 - Filme de PVA Residual sobre o Molde



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

A segunda constatação foi feita a respeito da interface entre o gel coat preto e branco, que apresentou leve irregularidades na junção entre as duas aplicações em todas as amostras produzidas com gel coat, conforme a figura 48, diferentemente do acabamento em tinta poliéster, que foi analisado posteriormente. Este fato pode ter ocorrido decorrente da utilização da fita crepe para isolar a amostra durante o processo de pintura no qual, durante a remoção da fita para aplicação da camada de gel coat preto, pode ter causado a irregularidade da interface entre as duas cores.

Figura 48 - Irregularidade Interface Gel Coat



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Por fim, todas as peças foram lixadas e acabadas. Com isso, notou-se que o polimento das amostras em gel coat revelaram um brilho que antes não continha. Após o polimento também ficou constatado a diferença entre o acabamento em gel coat e na tinta poliéster, onde a tinta poliéster leva vantagem. Entretanto, ao longo do teste de osmose, onde as amostras eram submetidas à uma força de compressão com o cano de PVC, para que não houvesse vazamentos, a amostra revestida em poliéster foi a única a apresentar deformações visíveis na sua aparência, como pode ser visto na figura 49.

Figura 49 - Deformação Visível Amostra 4



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

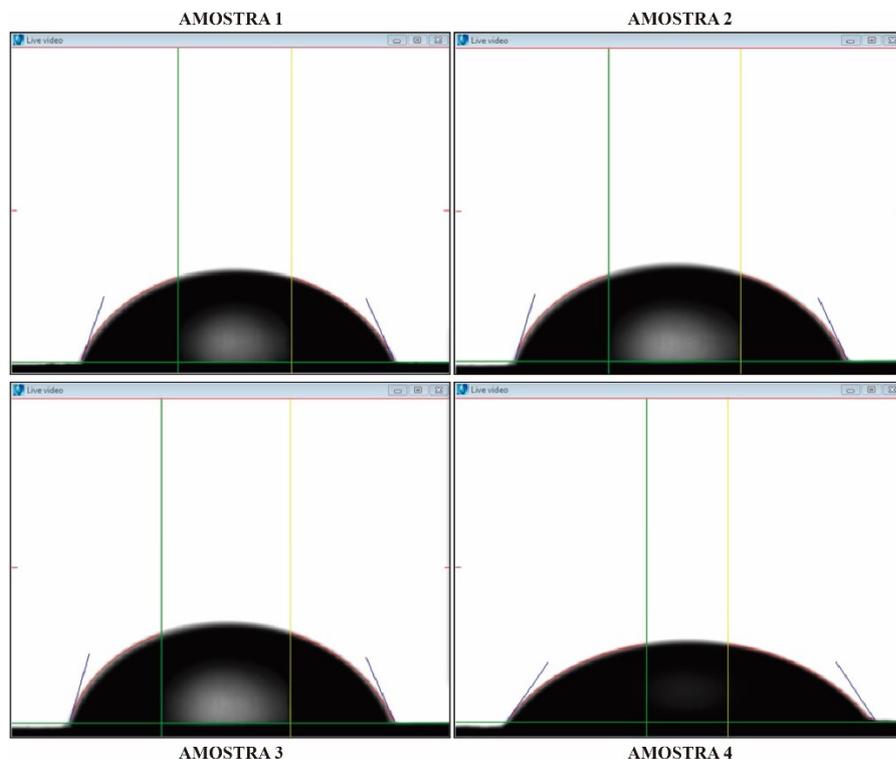
Um exemplar de cada amostra também foi exposto ao sol e luz incandescente por um período aproximado de 200 horas para avaliar a mudança de cor ou qualquer efeito na qualidade do gel coat preto ou na tinta poliéster. Entretanto, nenhuma mudança perceptível foi constatada, concluindo que o teste necessitaria de mais horas de exposição para produzir algum efeito.

4.4 Molhabilidade

A análise da molhabilidade dos revestimentos pode ser entendida através da tabela 10 com os valores de média e da imagem dos revestimentos testados na figura 50. No teste de molhabilidade também foi realizado a análise estatística com distribuição de t de *student* para avaliação dos resultados.

De acordo com a figura 50, que faz um comparativo entre as diferentes imagens da gota sobre a superfície do revestimento, nota-se que a gota incidida sobre a amostra 4 tem uma forma mais “achatada”, com maior espalhamento sobre a superfície, caracterizando-a como revestimento com menor tensão superficial e conseqüentemente maior propriedade hidrofílica em relação às demais.

Figura 50 – Comparativo do Ângulo de Incidência de Gota



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Tabela 9: Dados Goniômetro Amostra 1

Médias do ângulo de Incidência de Gota (graus)				
No. Medição	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
1	68,4	72,1	69,4	53,9
2	68,2	72,2	69,7	53,6
3	68,4	72,1	69,8	53,9
4	68,1	72,3	69,8	53,9
5	68,1	72,2	69,8	53,8
6	68,2	72,4	69,7	53,6
7	68,2	72,3	69,4	53,8
8	68,3	72,3	69,6	53,7
9	67,8	72,1	69,4	53,5
10	68,3	72,2	69,8	53,8
Média	68,2	72,2	69,6	53,8

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

Para a Amostra 4, onde houve o interesse maior de verificar o comportamento dado suas propriedades distintas do gel coat, pode-se verificar na tabela 10 que a mesma obteve o menor ângulo de incidência, com valor de média igual 53,75°, sendo 25,57% menor que o ângulo de incidência da amostra 2. Este fato reforça os resultados obtidos na análise do teste de absorção de água, onde o revestimento com tinta poliéster, por ter característica hidrofílica maior que as amostras com gel coat, apresentou maior porcentagem de absorção.

Tabela 10 - Distribuição t de Student para Teste de Molhabilidade

Distribuição t de Student para o Teste de Molhabilidade				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Média	68,2	72,22	69,64	53,75
Desvio Padrão	0,176	0,103	0,178	0,143
Limite Superior	68,302	72,280	69,743	53,833
Limite Inferior	68,098	72,160	69,537	53,667
Erro	0,102	0,060	0,103	0,083

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

A comparação entre as amostras variando o percentual de iniciador também foi realizada. Neste caso, a amostra 2, com 1,5% de iniciador de reação, foi a amostra que apresentou maior ângulo, com probabilidade de 95% de chance de ângulos entre 72,160 e 72,280 graus. Já para a amostra 3, com 2,0% de iniciador, a média de ângulo resultante das medições foi de 69,64°, com desvio padrão amostral de 0,178°. Com estes dados, não se pode

afirmar no presente estudo que o iniciador de reação teve influência sobre a tensão superficial do revestimento, uma vez que a amostra 2, comparado à amostra 3, com quantidade menor de iniciador, obteve maior ângulo e conseqüentemente menor propriedade hidrofílica. Além disso, fazendo a análise comparativa entre as amostras 1 e 3, a diferença em 1,0% de iniciador na mistura resultou em uma defasagem de apenas 2,07% entre ambas as amostras, sendo aceitável considerar que as duas possuem as mesmas características de molhabilidade.

4.5 Análise de Custos

A análise de custo teve como principal objetivo comparar os procedimentos de aplicação de gel coat e tinta poliéster quanto ao seu custo total. O processo atual do estaleiro consiste na pintura do costado após o desmolde com tinta poliéster. Por isso, a área onde será aplicado a tinta é independentemente revestida com o gel coat da cor branca antes da laminação, o que envolve o custo de R\$ 1.579,20 de matéria-prima (M.P.) do casco em gel coat branco, conforme a Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 - Análise de Custo: Processo Atual

PROCESSO ATUAL						
	Custo M.P.		Tempo [h]	Custo M.O.		Total
CASCO EM GELCOAT BRANCO	R\$	1.579,20	1	R\$	18,07	R\$ 1.597,27
PREPARAÇÃO PARA PINTURA	R\$	251,31	18	R\$	325,30	R\$ 576,61
PINTURA POLIESTER	R\$	1.496,10	10	R\$	180,72	R\$ 1.676,82
ACABAMENTO FINAL	R\$	879,00	8	R\$	144,58	R\$ 1.023,58
TOTAL PROCESSO ATUAL	R\$	4.205,61	37	R\$	668,67	R\$ 4.874,28

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

O método de pintura com poliéster, conforme descrito na metodologia, necessita da preparação da superfície para a pintura efetiva da tinta poliéster. A compra de primer, lixa e outros, discriminados como “Preparação para pintura” tem um custo ao estaleiro de R\$ 251,31.

O processo sugerido baseia-se na substituição da pintura da região do costado em poliéster por gel coat de pigmentação colorida. Como ambos são aplicados no molde, o custo de gel coat é contabilizado como sendo costado em azul e fundo em branco, de custo de matéria-prima equivalente a R\$ 1.040,40 e R\$ 902,40 respectivamente.

Tabela 12 - Análise de Custo: Processo Sugerido

PROCESSO SUGERIDO						
	Custo M.P.		Tempo [h]	Custo M.O.		Total
FUNDO DO CASCO EM GEL COAT BRANCO	R\$	902,40	1	R\$	18,07	R\$ 920,47
COSTADOS DO CASCO EM GEL COAT AZUL	R\$	1.040,40	1	R\$	18,07	R\$ 1.058,47
ACABAMENTO FINAL	R\$	879,00	8	R\$	144,58	R\$ 1.023,58
TOTAL PROCESSO SUGERIDO	R\$	2.821,80	10	R\$	180,72	R\$ 3.002,52

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2017

A mão de obra (M.O.) também é incluída na análise, uma vez que o processo pintura em gel coat demora cerca de 10 horas para finalizar todo o serviço, a tinta poliéster leva 63 horas de trabalho para o término do procedimento.

Assim, pode-se constatar que, com uma diferença de R\$ 1871,76 entre o processo atual e o processo sugerido. Estima-se que de um total de 7 embarcações do modelo Schaefer 303 produzidas no mês, 5 são entregues com pintura poliéster, fazendo com que a diferença de custos entre os dois processos seja de R\$ 9.358,80 / mês ou R\$ 112,305,60 por ano, além de 135 horas de diferença por mês, onde os funcionários poderiam ser destinados a outros serviços. Na presente análise os encargos já estão incluídos no valor de mão de obra, entretanto, os impostos sobre a matéria prima foram desconsiderados, uma vez que o mercado náutico opera sob um regime especial, onde o ICMS não é recolhido na entrada e é pago 3,5% na saída sobre o valor da embarcação (variável). A respeito do IPI, este é creditado, e não há imposto sobre importação pois todos os produtos constados na análise são nacionais. Além do mais, como a análise foi feita dentro do mesmo estaleiro, com o mesmo fornecedor, a alíquota sobre os produtos é a mesma. Portanto, foi considerado apenas os encargos no custo de mão de obra e o preço de aquisição da matéria prima conforme consta no sistema interno do estaleiro.

5 CONCLUSÃO

Dois tipos de pintura em compósitos foram avaliados, um com revestimento em gel coat colorido e outro com tinta poliéster, para que fosse apresentado ao estaleiro Schaefer Yachts o melhor custo/benefício no quesito de pintura estética e protetiva do costado da embarcação Schaefer 303. Análises no âmbito de resistência, durabilidade, custo efetivo e acabamento foram os principais pontos considerados. Também foi avaliado a influência da quantidade de iniciador de reação na composição do gel coat para que fosse agregado novos conhecimentos ao setor náutico quanto a utilização desse produto, assim como dos agentes desmoldantes.

Os testes de dureza Barcol e Shore realizados forneceram importantes informações quanto à dureza do material com a variação do iniciador e também do tipo de revestimento. Como constatado na análise dos resultados, a tinta poliéster apresentou menor dureza comparado ao gel coat. Esse fato se torna uma desvantagem para esse processo, uma vez que a região do costado da embarcação está em constante contato com materiais e ferramentas que podem produzir riscos ou perfurações, a suscetibilidade da tinta poliéster resulta em constante retrabalho e repintura da área coberta.

Para a questão de dureza com diferentes quantidades de iniciador, como fora previamente descrito, a ação do iniciador no processo de cura da camada de gel coat mostrou uma tendência a ser influente nas propriedades de dureza do material. De acordo com Nasseh (2011) uma maior porcentagem de peróxido na mistura do gel coat pode resultar em uma cura melhor do material, mas, é importante que se tenha cuidado, pois o excesso também resultará em inúmeros defeitos, principalmente em um material tão vulnerável como o gel coat. O ideal é que se respeite as recomendações dos fabricantes e da literatura.

No quesito de absorção de água da camada de revestimento, como pôde ser observado pelo gráfico 1, a tinta poliéster mostrou ser o tipo de revestimento mais vulnerável a agregar massa à embarcação quando em contato com o ambiente marinho. Em comparação com o valor de média da Amostra 2, que representa o processo a quantidade padrão de iniciador utilizado no estaleiro, a Amostra 4 absorveu, sobre o ganho em porcentagem, cerca de 23,15% a mais de água que o compósito revestido em gel coat a 1,5% de iniciador. Esta constatação é ainda

reforçada pela análise de molhabilidade do material, onde a superfície de tinta poliéster apresentou um ângulo de contato inferior ao do gel coat, que caracteriza um material mais hidrofílico.

Não só a adição de massa à embarcação, que pode influenciar em questões de eficiência e consumo da embarcação, a suscetibilidade à osmose traz preocupações quanto ao acabamento da pintura, uma vez a água pode acarretar em resultados indesejáveis como bolhas, deterioração da pintura e também problemas ao compósito da embarcação.

No aspecto de acabamento, inspecionado visualmente, é evidente a qualidade superior da tinta poliéster. Brilho, acabamento metálico ou perolizado, interface entre a camada de tinta e o gel coat com mínima produção de irregularidades, são as principais vantagens deste método que atrai alguns construtores. O gel coat também produz uma superfície brilhosa e bem-acabada. Após o polimento da superfície, o revestimento apresenta excelente aspecto. Entretanto, o gel coat ainda possui algumas deficiências, como a dificuldade em se reproduzir exatamente a mesma tonalidade para a mesma cor. Esse fator é crítico principalmente no retoque, onde há a dificuldade de se reproduzir a mesma cor, evidenciando as duas aplicações, principalmente nos gel coats coloridos. Outra desvantagem se resume à pouca variedade no mercado de gel coat com acabamento metalizado ou perolizado. Até o presente trabalho, só se encontrou na literatura e no estaleiro gel coat de cor sólida, como o preto aqui apresentado.

Finalmente, a análise de custos elaborada possibilitou avaliar os aspectos financeiros entre os dois tipos de pintura. O fato da necessidade da aplicação do gel coat no molde anterior a aplicação da tinta, encarece este método. A quantidade de horas necessárias para a conclusão da pintura também é discrepante entre os dois processos. Não somente o custo da mão de obra, mas a possibilidade de designar outros serviços aos funcionários pela redução no tempo de produção contribuirá para um aumento produtivo do estaleiro.

Com o presente trabalho pôde-se concluir que o gel coat apresenta melhores propriedades, durabilidade e menor custo de fabricação que o revestimento em tinta poliéster. Assim sendo, prova em primeiro momento que o gel coat é tido como melhor custo/benefício e pode trazer vantagens para o estaleiro que procura oferecer um produto com excelente acabamento e durabilidade, ainda assim, com redução de custos e aumento de produtividade.

REFERÊNCIAS

- ABMACO (Brasil) (Ed.). **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. 625 p.
- ABMACO (Brasil). **Compósitos 2: Tecnologia e Processos**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2009. 355 p.
- ACOBAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CONSTRUTORES DE BARCOS E SEUS IMPLEMENTOS. **Indústria náutica brasileira: fatos e números de 2012**. Rio de Janeiro, 2012.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2240 -03: Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness**. Filadélfia: ASTM International, 2003. 12 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **D 2583-95: Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor**. Filadélfia: ASTM International, 2001. 4 p
- CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 2008. 709 p.
- CAMATTA, Paulo. **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. p. 201-223.
- COELHO, Rodrigo Paulo. **Comparação entre o processo de laminação manual e infusão à vácuo, na fabricação de casco de embarcações de recreio: Estudo de caso no Estaleiro Schaefer Yachts**. 2011. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão da Produção Industrial, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Senai, São José, 2011.
- FANTINI, Luiz Carlos. **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. p. 37-88.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila
- FAZENDA, Jorge M R. **Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia**. 3. ed. São Paulo: Abrafati Blucher, 2005. 1044 p.
- FRAGA, Regina; CRUZ, Rubens; IACOVELLA, Roberto. **Compósitos I: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. p. 225-233.
- GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Org.). **Método de Pesquisa**. Rio Grande do Sul: Editora da UFRGS, 2009. 120 p.
- GREENE, Eric. **Marine Composites**. 2. ed. Annapolis: Eric Greene Associates Inc, 1999. 390 p.

LEVY NETO, Flaminio; PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2006. 309 p.

MARMUR, A.; **Hydro- Hygro – Oleo- Omni- phobic? Terminology of Wettability Classification**. Royal Society of Chemistry 2012, 8, 6867-6870.

MENDONÇA, P. T. **Materiais Compostos e Estruturas Sanduíche**. [S.l.]: Manole. Brasil, 2005.

MOREIRA, Waldomiro. **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. p. 37-88.

NASSEH, Jorge. **Barcos: Métodos Avançados de Construção em Composites**. Rio de Janeiro: Jorge Nasseh, 2007. 371 p.

NASSEH, Jorge. **Manual de Construção de Barcos**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2011.

NETO, Oscar Guimarães. **Análise de Custos**. Curitiba. IESDE Brasil S.A., 2008

ORRO, Luiz. **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. p. 89-108.

PERDOMO, Claudio Fahl. **Proposta de uma linha de montagem de barcos de lazer de médio porte: uma aplicação dos conceitos de manufatura enxuta**. 2010. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

PONTIFEX, Roberto. **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. p. 109-122.

SALTZ, W.T. **Bay Area 2005 Ozone Strategy Control Measure SS-4 BAAQMD Regulation 8, Rule 50: Polyester Resin Operations**, San Francisco, 2009. 25 p.

SANTOS, Felon Chaves dos. **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. p. 179 - 198.

SCHABBACH, Luciana Maccarini. **Utilização da espectrofotometria na Caracterização e Predição de Cores de Esmaltes Cerâmicos Monocromáticos Opacos**. 2004. 200 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004

SILVA, Anderson. **Apresentação sobre Gelcoat**. São Paulo: Reichhold, 2016. 36 slides, color.

SERVEIRA, Sérgio. **Redução do Índice de Não Conformidade na Aplicação de Gel Coat no Estaleiro Schaefer Yachts**. 2011. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Gestão da Produção Industrial, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Senai, São José, 2011.

SPURR, Daniel. **Heart of Glass: Fiberglass Boats and the Men Who Built Them**. U.S: International Marine/McGraw-Hill, 2004. 400 p.

TAVARES JÚNIOR, Edison Pereira. **Montagem de um aparato experimental para testes de absorção de água em compósitos**. 2016. 62 p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

VIANNA, Luiz. Gelcoat náutico. "**gelcoat**" **Embracoat: A magia das cores aliada à alta resistência química e mecânica**. São Paulo, p. 18-19. 23 out. 2009. Disponível em: <http://www.tecnologiademateriais.com.br/consultas_tm/pdf/pr67/18-19.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2017.

YUAN, Yuehua; LEE, T. Randall. Surface Science Techniques. **Springer Series in Surface Sciences**, [s.l.], v. 51, n. 1, p.3-34, 2013. Springer Berlin Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1>

YUHAZRI M.y. A REVIEW ON GELCOAT USED IN LAMINATED COMPOSITE STRUCTURE. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, [s.l.], v. 04, n. 03, p.49-58, 25 mar. 2015. ESAT Publishing House. <http://dx.doi.org/10.15623/ijret.2015.0403007>.

APÊNDICE A – TABELA COM DADOS DO TESTE DE OSMOSE

Dia	Data e Horário	Total de Horas	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	
Dia 0	26/05/2017	17:00	0	69,9183	67,5893	70,9900	65,0822
Dia 3	29/05/2017	09:00	64	69,9533	67,6138	71,0291	65,1140
		17:00	72	69,9508	67,6132	71,0302	65,1120
Dia 4	30/05/2017	09:00	88	69,9417	67,6120	71,0314	65,1025
		17:00	96	69,9395	67,6095	71,0276	65,0996
Dia 5	31/05/2017	09:00	112	69,9437	67,6073	71,0350	65,1047
		17:00	120	69,9434	67,6075	71,0331	65,1027
Dia 6	01/06/2017	09:00	136	69,9492	67,6105	71,0373	65,1074
		17:00	144	69,9434	67,6064	71,0316	65,1010
Dia 7	02/06/2017	17:00	168	69,9461	67,6061	71,0356	65,1058
Dia 8	03/06/2017	17:00	192	69,9469	67,6103	71,0391	65,1066
Dia 9	04/06/2017	17:00	216	69,9523	67,6166	71,0435	65,1126
Dia 10	05/06/2017	17:00	240	69,9571	67,6216	71,0548	65,1150
Dia 11	06/06/2017	17:00	264	69,9589	67,6241	71,0549	65,1160
Dia 12	07/06/2017	17:00	288	69,9598	67,6237	71,0548	65,1187
Dia 13	08/06/2017	17:00	312	69,9602	67,6263	71,0544	65,1222
Dia 14	09/06/2017	17:00	336	69,9520	67,6183	71,0479	65,1160
Dia 15	10/06/2017	17:00	360	69,9476	67,6195	71,0421	65,1103
Dia 16	11/06/2017	17:00	384	69,9512	67,6223	71,0436	65,1150
Dia 17	12/06/2017	17:00	408	69,9557	67,6303	71,0518	65,1325
Dia 18	13/06/2017	17:00	432	69,9587	67,6304	71,0537	65,1210
Dia 19	14/06/2017	17:00	456	69,9624	67,6338	71,0604	65,1255
Dia 20	15/06/2017	17:00	480	69,9639	67,6371	71,0623	65,1270
Dia 21	16/06/2017	17:00	504	69,9645	67,6380	71,0620	65,1277
Dia 22	17/06/2017	17:00	528	69,9698	67,6389	71,0581	65,1281

APÊNDICE B – TABELA COM DADOS DE GANHO MÁSSICO EM %

Dia	Data e Horário		Total de Horas	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Dia 0	26/05/2017	17:00	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Dia 3	29/05/2017	09:00	64	0,0501	0,0362	0,0551	0,0489
		17:00	72	0,0465	0,0354	0,0566	0,0458
Dia 4	30/05/2017	09:00	88	0,0335	0,0336	0,0583	0,0312
		17:00	96	0,0303	0,0299	0,0530	0,0267
Dia 5	31/05/2017	09:00	112	0,0363	0,0266	0,0634	0,0346
		17:00	120	0,0359	0,0269	0,0607	0,0315
Dia 6	01/06/2017	09:00	136	0,0442	0,0314	0,0666	0,0387
		17:00	144	0,0359	0,0253	0,0586	0,0289
Dia 7	02/06/2017	17:00	168	0,0398	0,0249	0,0642	0,0363
Dia 8	03/06/2017	17:00	192	0,0409	0,0311	0,0692	0,0375
Dia 9	04/06/2017	17:00	216	0,0486	0,0404	0,0754	0,0467
Dia 10	05/06/2017	17:00	240	0,0555	0,0478	0,0913	0,0504
Dia 11	06/06/2017	17:00	264	0,0581	0,0515	0,0914	0,0519
Dia 12	07/06/2017	17:00	288	0,0594	0,0509	0,0913	0,0561
Dia 13	08/06/2017	17:00	312	0,0599	0,0547	0,0907	0,0615
Dia 14	09/06/2017	17:00	336	0,0482	0,0429	0,0816	0,0519
Dia 15	10/06/2017	17:00	360	0,0419	0,0447	0,0734	0,0432
Dia 16	11/06/2017	17:00	384	0,0471	0,0488	0,0755	0,0504
Dia 17	12/06/2017	17:00	408	0,0535	0,0607	0,0871	0,0773
Dia 18	13/06/2017	17:00	432	0,0578	0,0608	0,0897	0,0596
Dia 19	14/06/2017	17:00	456	0,0631	0,0658	0,0992	0,0665
Dia 20	15/06/2017	17:00	480	0,0652	0,0707	0,1018	0,0688
Dia 21	16/06/2017	17:00	504	0,0661	0,0721	0,1014	0,0699
Dia 22	17/06/2017	17:00	528	0,0737	0,0734	0,0959	0,0705

APÊNDICE C – TABELA COM MEDIÇÕES PROCESSO DE PINTURA

Amostra 1 (1,0% Semip.)		Amostra 2 (1,5% Semip.)		Amostra 3 (2,0% Semip.)		Amostra 4 (Poliéster)		Amostra 5 (1,5% cera+PVA)	
Tempo	Temperatura	Tempo	Temperatura	Tempo	Temperatura	Tempo	Temperatura	Tempo	Temperatura
0 min.	21,5°C	0 min.	21,8°C	0 min.	21,3°C	0 min.	21,6°C	0 min.	21,3°C
15 min.	21,8°C	15 min.	22,1°C	15 min.	22,1°C	15 min.	21,9°C	15 min.	21,9°C
30 min.	21,8°C	30 min.	22,1°C	30 min.	22,3°C	30 min.	22,2°C	30 min.	22,0°C
45 min.	21,9°C	45 min.	22,2°C	45 min.	22,7°C	45 min.	22,0°C	45 min.	22,4°C
60 min.	22,4°C	60 min.	22,7°C	60 min.	23,3°C	60 min.	22,5°C	60 min.	22,9°C
75 min.	22,5°C	75 min.	22,8°C	75 min.	24,0°C	75 min.	22,6°C	75 min.	23,0°C
90 min.	23,1°C	90 min.	23,0°C	90 min.	24,0°C	90 min.	22,4°C	90 min.	23,5°C
105 min.	23,6°C	90 min.	23,8°C	90 min.	23,8°C	90 min.	23,1°C	90 min.	24,0°C

APÊNDICE D – REGISTRO TESTE DE DUREZA BARCOL E SHORE-D

Registro Teste de Dureza Bacol	
Identificação do Material	Gel Coat ou Tinta Poliéster
Condições das Amostras	Superfície lisa, polida e livre de imperfeições ou avarias
Modelo do Durômetro	Barcol 934-1
Número de Leituras	8
Data do Teste	09/06/2017
Temperatura Ambiente	20°C

Registro Teste de Dureza Shore-D	
Data	13/06/2017
Temperatura Ambiente	21 C
Umidade Relativa	62%
Carga	5 kg
Tempo de Aplicação de Carga	10 segundos
Modelo Durômetro e Indentador	Woltest SD 300 Shore D Digital Mod GS-702

APÊNDICE E – PARÂMETROS DISTRIBUIÇÃO T DE *STUDENT*

Distribuição t de Student - Teste Barcol	
Número de Medições	8
Graus de Liberdade	7
Intervalo de Confiança	95%
Nível de Confiança (1 - Intervalo)	5%
Distribuição t (tabela)	1,895

Distribuição t de Student - Teste Shore-D	
Número de Medições	5
Graus de Liberdade	4
Intervalo de Confiança	95%
Nível de Confiança (1 - Intervalo)	5%
Distribuição t (tabela)	2,132

Distribuição t de Student - Teste de Molhabilidade	
Número de Medições	10
Graus de Liberdade	9
Intervalo de Confiança	95%
Nível de Confiança (1 - Intervalo)	5%
Distribuição t (tabela)	1,833