

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

Edison Pereira Tavares Júnior

MONTAGEM DE UM APARATO EXPERIMENTAL PARA TESTES DE
ABSORÇÃO DE ÁGUA EM COMPÓSITOS

Joinville
2016

Edison Pereira Tavares Júnior

MONTAGEM DE UM APARATO EXPERIMENTAL PARA TESTES DE
ABSORÇÃO DE ÁGUA EM COMPÓSITOS

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Naval.

Orientador: Dr. Gabriel Benedet Dutra.

Joinville

2016

Ao meu querido avô (in memoriam), por impulsionar a condução de meus passos durante minha infância, o sonho de conhecer e estudar o setor Naval.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades.

Ao meu pai, Edison, e minha mãe, Anita, pelo amor, incentivo, apoio incondicional e por tudo que fizeram por mim durante minha vida pessoal e acadêmica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gabriel Benedet Dutra, que confiou na minha capacidade. Seus incentivos, contribuições e apoio foram fundamentais para a realização deste trabalho. A motivação dos alunos é fruto da dedicação e didática adotada pelo educador nas disciplinas aplicadas no Campus de Joinville da respectiva instituição.

Aos meus irmãos, Gustavo e Guilherme, pelo companheirismo ao longo dos anos de convivência diária e dos outros tantos de contato à distância.

Aos fornecedores de *Gelcoat*, o qual será abordado mais à frente neste trabalho, que contribuíram para execução deste trabalho concedendo amostras.

Aos profissionais das empresas, Nova Scott Especialidades Químicas Ltda. e Durin Indústria de Plásticos Ltda., que contribuíram para execução deste trabalho concedendo informações e sugestões, as quais serão apresentadas mais à frente neste trabalho.

Aos colegas da instituição Frederico Cantur e Estevão Moura do Laboratório de Fabricação de Modelos da UFSC e a responsável do Laboratório de Química da Univille, Aline, pelo suporte e disponibilidade para contribuição para realização do presente trabalho.

Aos amigos Murilo Levandoski e Andrei Bonelli, irmãos na amizade, que estiveram presente e incentivando no decorrer da minha formação.

Por fim, expresso meus profundos agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram na minha formação, por acreditarem no meu potencial e ideias.

“A esperança tem duas filhas lindas, a indignação e a coragem; a indignação nos ensina a não aceitar as coisas como estão; a coragem, a mudá-las.”

(Santo Agostinho)

RESUMO

Na indústria náutica, a maioria das embarcações, são produzidas a partir de materiais compósitos. Estes materiais estão constantemente sujeitos a ambientes agressivos, como água salgada e variação de temperatura ao longo de toda sua vida útil. Como forma de evitar a degradação acelerada nas peças em compósitos é utilizada uma camada de pintura superficial a base da resina denominada *gelcoat*. Para a certificação da qualidade do *gelcoat*, existe a necessidade de reproduzir em escala laboratorial o ambiente salino por meio de um equipamento que reproduza as condições de aplicação. Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo projetar e construir um aparato de baixo custo para esta finalidade. Primeiramente foram coletados dados na literatura e com especialistas na área estudada. Em seguida, os componentes foram selecionados levando em consideração o baixo custo e resistência adequada a degradação em água salgada em elevada temperatura, visto apresentar um sistema de controle de temperatura para acelerar o processo de degradação dos corpos de prova. Após a construção foi realizado um ensaio com quatro peças em compósitos de longa duração, com intuito de verificar a eficiência do equipamento. Neste ensaio alguns ajustes iniciais foram realizados e pode-se fazer análise qualitativa e quantitativa das amostras. O aparato mostrou-se uma importante ferramenta para ensaios de peças planas em contato com água podendo assim servir como base para outros desenvolvimentos na área de materiais compósitos e recobrimentos.

Palavras-chave: Materiais Compósitos. *Gelcoat*. Absorção de Água. Aparato de Ensaio. Recobrimento.

ABSTRACT

In the marine industry, the most vessels are made from composite materials. These materials are constantly subjected to harsh environments such as salt water and temperature variation throughout its lifetime. In order to prevent accelerated degradation in the composite part a layer is used a layer of surface painting called gelcoat base resin. For certification of quality gelcoat, there is the need to reproduce in lab scale the marine environment by equipment that reproduces the application conditions of application. Therefore, this study aims to design and build a low-cost apparatus for this purpose. First, data were collected in the literature and experts in the field of similar design. Then, the components were selected taking into account the low cost and adequate resistance to degradation in salt water at elevated temperature, as present a temperature control system to accelerate the process of degradation of specimens. After construction was performed a test with four composite in long-term, in order to check the equipment efficiency. In this test some initial adjustments were made and can make a qualitative and quantitative analysis of the samples. Thus, the apparatus shown is an important tool for flat test pieces in contact with water and thus can serve as base for other developments in the area of composite materials and coatings.

Keywords: Composite Materials. Gelcoat. Water Absorption. Test Apparatus. Veneering.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS NA INDÚSTRIA NÁUTICA	17
2.2	<i>GELCOAT</i>	18
2.2.1	Definição.....	18
2.2.2	Principais características do produto	18
2.2.2.1	Principais diferenças entre <i>gelcoat</i> e as pinturas convencionais.....	19
2.2.3	Tipos existentes de <i>gelcoat</i>	20
2.2.4	Matérias primas para produção do <i>gelcoat</i>	21
2.2.4.1	Resina Poliéster	21
2.2.4.2	Pigmentos.....	22
2.2.4.3	Cargas	22
2.2.4.4	Solventes.....	23
2.2.4.5	Agente tixotrópico.....	23
2.2.4.6	Absorventes de ultravioleta (UV)	24
2.2.5	Maneiras de aplicação de <i>gelcoat</i>	25
2.2.6	Espessura de <i>gelcoat</i>	25
2.2.7	Tipos de ensaios com <i>gelcoat</i>	25
2.2.7.1	Viscosidade Brookfield e índice tixotrópico.....	26
2.2.7.2	Cor e espectro	28

2.2.7.3	Poder de cobertura e reatividade	29
2.2.7.4	Dureza Barcol.....	30
2.2.8	Comportamento em contato com água.....	30
2.2.8.1	Blister.....	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA.....	33
3.2	PROJETO UTILIZANDO FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS....	37
3.3	PREPARAÇÃO PARA ENSAIO DO APARATO.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	CONSTRUÇÃO E SELEÇÃO DOS MATERIAIS DO APARATO ...	41
4.1.1	Estrutura do aparato.....	41
4.1.2	Saída de acesso para o laminado	44
4.1.3	Sistema de fixação	47
4.1.4	Sistema de controle de temperatura	49
4.2	PROJETO EM CAD DO APARATO	52
4.3	CUSTOS DOS MATERIAIS.....	54
4.4	ENSAIO UTILIZANDO O APARATO MONTADO.....	55
5	CONCLUSÃO	58
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
6.1	MELHORIAS NO APARATO.....	59
6.2	MELHORIAS NOS TESTES.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -- Modelagem da viscosidade utilizando-se o Brookfield.	27
Figura 2 - Equipamento Brookfiel DV-III	28
Figura 3 - Espectrofotômetro Jenway.	29
Figura 4 - Durômetro Barcol.	30
Figura 5 – Aparato disponível no livro do Jorge Nasseh Compósitos 1	33
Figura 6 – Aparato disponível no estudo de Forte.	35
Figura 7 - Corpos de Prova para o aparato de Forte.	35
Figura 8 - Aparato disponível no estudo de Engelhard	37
Figura 9 - Laminado Lixado para aplicação do <i>gelcoat</i>	38
Figura 10 - Materiais para Mistura do gelcoat com Iniciador	39
Figura 11 - Aplicação do <i>Gelcoat</i> "A" na Placa de Teste.	39
Figura 12 - Balança Digital Metler AT250	40
Figura 13 - Estrutura do Aparato, Caixa PP.....	42
Figura 14 - Manual da caixa de inspeção e passagem de esgoto.	42
Figura 15 - Seção interna da caixa em PP	43
Figura 16 - Vista superior, frontal e direita da caixa em PP.	43
Figura 17 - Simulação da estrutura da caixa em PP.....	44
Figura 18 - Capa de Vedação PVC 100mm.....	44
Figura 19 – Cano em PVC 100mm.....	45
Figura 20 – Acoplamento de cano e capa de PVC via caixa PP.....	45
Figura 21 - Anel de vedação 100mm.	45
Figura 22 - Vaselina Líquida industrial	46
Figura 23 - Teste de vedação do acoplamento de saída.	46
Figura 24 - Furo do Acoplamento de Saída.	47
Figura 25 – Lista de materiais para fixação do corpo de prova.....	47
Figura 26 - Acoplamento de Fixação.	48

Figura 27 - Aquecedor Térmico.	49
Figura 28 - Dimmer Rotativo e Aquecedor.....	49
Figura 29 - Instalação elétrica dimmer.....	50
Figura 30 - Termômetro ponta de agulha digital.	50
Figura 31 – Termostato.....	51
Figura 32 - Aparato em funcionamento.....	51
Figura 33 - Vista explodida I Solidworks®.	52
Figura 34 - Vista Explodida II Solidworks®.	53
Figura 35 - Projeção Acoplamento Laminado Fixado.	53
Figura 36 - Reprodução dos 3 lados restantes.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matéria-prima e suas Características.	19
Tabela 2 - Tipos de <i>gelcoat</i>	21
Tabela 3 - Cotação de Preço dos Materiais para Montagem do Aparato. ..	54
Tabela 4 – Absorção de água de diferentes corpos de prova.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Blister.....	32
Quadro 2 - Corpo de prova, pré e pós ensaiados.....	56

1 INTRODUÇÃO

A qualidade superficial adequada de embarcações fabricados com materiais poliméricos se reflete tanto na questão estética, visto sua atratividade comercial, quanto na durabilidade do mesmo. Para a produção de cascos com superfícies mais suaves, ou seja, sem variações bruscas de geometria, faz-se o uso de um composto químico conhecido como *gelcoat*.

Segundo Summerscale, (2010) *gelcoat* é uma camada superficial de resina (normalmente não reforçada), aplicado a um laminado para proporcionar reforço a uma superfície plástica e durabilidade em ambientes onde o laminado poderia ser degradado.

Os *gelcoats* tem como aplicação, proteções de molduras sob influência da resistência de produtos químicos; fidelidade quanto a cor; proteção da superfície dos moldes; diminuir incidências a riscos e desgaste de camadas superficiais (GELCOAT PLUS BMBH, 2010).

Analisando a produção do *gelcoat* em larga escala, visto que o setor náutico vem crescendo em elevado potencial, nota-se necessidade de avaliar a qualidade do produto desenvolvido.

Para que se obtenha um padrão de qualidade, há necessidade de testes qualitativos e/ou quantitativos de propriedades físicas e químicas das amostras, para que as empresas possam realizar as possíveis correções, visando a satisfação dos consumidores deste produto.

Os testes qualitativos das propriedades de *gelcoat* apresentam metodologias estabelecidas de medição das suas propriedades físico-químicas, como por exemplo, viscosidade, reatividade, velocidade de cura, entre outras (WASHABAUGH, 1990). Para outras propriedades, como desempenho mecânico, químico, de resistência às intempéries do material curado, existem muitos testes e metodologias estabelecidas para medi-las (REFUNGI, 2015).

O aparato proposto neste trabalho necessita de alguns equipamentos essenciais para uma simulação autêntica de um ambiente marinho. Bem como o controle de alguns parâmetros para a pertinência na confiabilidade dos resultados a serem obtidos. Neste sentido, há a pretensão em segundo plano de simular as condições as quais embarcações confeccionadas em materiais compósitos estão submetidas, como a absorção de água em laminados de materiais compósitos, uma das principais funções a qual o *gelcoat* desempenha ao material (FORTE, 2008).

Para testes da resistência a absorção de água, há fornecedores que fazem o uso de equipamentos simples, porém de alto custo devido aos materiais empregados, o quais serão citados ao decorrer do trabalho (FORTE, 2008).

Devido às restrições financeiras para confecção deste equipamento, objetivo principal do presente trabalho, foi realizado um levantamento dos principais componentes a serem incluídos no aparato, visando uma simulação de um ambiente agressivo, com água salgada, a uma reação acelerada elevando até uma temperatura constante, de forma simplória e de baixo custo em escala laboratorial. Este equipamento será posteriormente instalado no Laboratório de Fabricação de Modelos do Centro de Joinville - UFSC.

Além disso, esta pesquisa foi aplicada *in loco* em 3 fornecedores nacionais de *gelcoat* apresentando esta alternativa para mensurar a qualidade dos materiais fornecidos para seus consumidores. A escolha destes fornecedores se deu quanto à disponibilidade dos mesmos e ao fornecimento de amostras para a fase de experimentação.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral

Elaborar um aparato experimental simples e de baixo custo, com a finalidade de testar a eficiência do *gelcoat* em termos de absorção de água.

Objetivos específicos

- Projetar um equipamento de baixo custo para teste em *gelcoat*;
- Executar a confecção e montagem do aparato experimental;
- Realizar ensaio de absorção de água salgada em laminados com diferentes *gelcoat*;
- Analisar o comportamento das amostras com e sem *gelcoat* sob efeito da água salgada, a temperatura constante.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS NA INDÚSTRIA NÁUTICA

Desde a década de 1950, os materiais compósitos vêm conquistando seu lugar na indústria naval, como compósito de fibra de vidro, que são menos poluentes e tem custo mais acessível. Isto o torna como uma das principais usuárias dos materiais compósitos em todo mundo. No Brasil, o número de barcos produzidos a partir de materiais compósitos é ainda pequeno, mas vem crescendo a cada ano. A maioria das lanchas, barcos de pesca e catamarãs produzidos no país são de materiais compósitos (LETZOW, 2012).

Um material compósito é definido basicamente como a combinação de dois ou mais materiais em uma escala macroscópica, formando então um terceiro material (LETZOW, 2012). Cada elemento individual tem suas características, formando desta união novas propriedades e quase sempre melhores que na sua individualidade (FORTE, 2008). Este material é tipicamente formado por inclusões suspensas em uma matriz. Essas inclusões (fibras ou partículas) conferem ao material composto suas características mecânicas, enquanto que as matrizes (resina) são responsáveis em transferir as solicitações mecânicas a estes reforços e protegê-las do ambiente externo (LETZOW, 2012).

Reforços para compósitos do uso náutico são principalmente de fibra de vidro devido sua resistência e maleabilidade para trabalho, em contraste a indústria aeroespacial que utiliza a fibra de carbono. Em geral a fibra de carbono, fibra de aramida e outros reforços especiais somente são utilizados no setor naval onde há exigência de estruturas altamente sofisticadas para projetos de alta eficiência (GREENE, 1999).

2.2 GELCOAT

2.2.1 Definição

O *gelcoat* é um líquido usualmente aplicado em moldes como material de revestimento. Esta técnica é conhecida por ressaltar a qualidade estética e propiciar proteção a superfície da peça moldada, desenvolvidas por resinas termorrígidas, sendo elas reforçadas ou não de fibra de vidro. Nesta técnica, o líquido de revestimento passa a ser à superfície externa do casco ou superfície da peça moldada (NICHOLL, 2001).

2.2.2 Principais características do produto

As principais características de um laminado ou compósito produzido a partir das resinas de poliéster são (ORRO, 2004):

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

Estudos similares evidenciam a necessidade do uso de *gelcoat* em laminados de estruturas de compósitos. É relatado a exigência que muitos desses materiais sejam revestidos por *gelcoat* por razões estéticas e/ou de durabilidade (YUHAZRI et al., 2015).

O uso de *gelcoat* confere ao material baixa densidade, baixos índices de condutividade térmica e elétrica, juntamente a uma elevada dureza barcol, além de excelente característica, com base seu elevado desempenho quanto ao intemperismo e aos processos corrosivos. (ORRO, 2004).

A Tabela 1, refere-se à matéria-prima presente na composição do *gelcoat* e as características que as mesmas proporcionam ao compósito. A seleção da matéria prima utilizada para formulação do material de revestimento é dada dependendo dos requisitos de projeto da embarcação, de forma a atender a funcionalidade do projeto.

Tabela 1 - Matéria-prima e suas 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 Tetrahidroftárico	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: Orro (2004, p.91).

2.2.2.1 Principais diferenças entre *gelcoat* e as pinturas convencionais

Para melhor compreensão da atribuição desta técnica, são citadas as principais diferenças entre a aplicação do *gelcoat* e as pinturas convencionais.

Partindo da sua formulação, o *gelcoat* tem sua formulação com base a resina de poliéster termofixas, enquanto as tintas convencionais apresentam a possibilidade de formulação com base em resinas tanto termofixas quanto termoplásticas. Uma segunda característica química divergente, refere-se a quantia menor de pigmento, consequência de sua espessura mais espessa quando comparada as pinturas convencionais.

Dando sequência a comparação, as aplicações destes dois materiais se dão de maneiras distintas. Geralmente o *gelcoat* se aplica sobre o molde, enquanto as tintas convencionais são sempre aplicadas sobre a peça.

Passo seguinte é a diferenciação do processo de cura. As pinturas geralmente secam por evaporação de solventes, enquanto o *gelcoat* tem seu processo de cura por intermédio de uma reação química entre o solvente e a resina de poliéster.

Conseqüentemente a distinção entre os dois materiais durante todo seu processo produtivo, reflete em cuidados distintos em sua peça final. A maior espessura possibilita ao material de revestimento de *gelcoat* ser lixado e polido facilmente para eliminar marcas e manchas, enquanto as pinturas convencionais necessitam de uma maior habilidade e cuidados para polimentos devido suas pequenas espessuras (PLASQUIMICA, 2010).

2.2.3 Tipos existentes de *gelcoat*

Após diferenciar o *gelcoat* das pinturas convencionais, justificando a aplicação deste material de revestimento, o passo seguinte foi avaliar a diferença entre os tipos de *gelcoat* existentes.

Os termos gerados aos tipos de resina, referem-se ao tipo de ácido pelo qual as resinas de poliéster são elaboradas (PLESSIS, 2010).

Assim, como pode ser vista a Tabela 2, gerada a partir das informações coletadas no estudo de Orro 2004, com as determinadas características de cada tipo de resina.

Tabela 2 - Tipos de *gelcoat*

Tipo/Resina Utilizada	Características
Ortoftálica	1. Bom acabamento; 2. Boas características físico-químicas.
Isoftálicas	1. Excelente acabamento a superfície; 2. Alta performance; 3. Altíssima Durabilidade.
Isoftálica com NPG	1. Excelente acabamento a superfície; 2. Alta performance; 3. Altíssima Durabilidade; 4. Excelentes Resistências Químicas.
Molde/resinas e cargas especiais	1. Promovem Excelente Brilho; 2. Promovem a longevidade do produto.
Primer	1. Excelente ancoragem; 2. Garanti uma superfície livre de bolhas.
Éster - Vinílica	1. Promovem a superfície excelente proteção anticorrosiva; 2. Características instáveis durante sua estocagem.

Fonte: Autor (2016).

2.2.4 Matérias primas para produção do *gelcoat*

2.2.4.1 Resina Poliéster

Aplicam-se resinas rígidas e flexíveis dos tipos ortofitálicas ou isofitálicas. As resinas bisfenólicas ou éster vinílicas são poucas empregadas e somente justificam seu uso em ambientes extremamente agressivos. Nestas situações, é recomendado o uso de véus de superfície, que são reforços flexíveis (BORGES, 2004), como reforço de proteção do laminado que se encontra em contato com o ambiente agressivo. Os véus de superfície asseguram uma espessura mais uniforme e uma maior resistência a absorção. (PLASTIQUÍMICA, 2010)

As resinas rígidas têm um brilho superficial menor, porém possuem uma resistência a intempéries maior do que as flexíveis. O problema é que o uso das resinas rígidas, implica em superfícies mais susceptíveis a rachaduras, facilitando a penetração de umidade e erosão, prejudicando a durabilidade da capa protetora. Na prática é usual o emprego do *gelcoat* semirrígido. O coeficiente elástico consiste de 90% a 70% de resina rígida modificada para 10 a 30% de resina

flexível. Deste modo, há uma perda no brilho e a resistência a intempéries, porém tem-se um ganho a resistência a rachaduras superficiais (PLASTIQUÍMICA, 2010).

2.2.4.2 Pigmentos

Pigmentos são partículas sólidas, insolúveis em resina e em solventes. Os pigmentos proporcionam cobertura (opacidade) e coloração ao *gelcoat*. Entre os distintos pigmentos disponíveis, a formulação de *gelcoat* pode basear sua seleção nos pigmentos orgânicos ou inorgânicos, sintéticos ou naturais.

Geralmente, os inorgânicos mostram melhor estabilidade à intempérie que os orgânicos, embora haja pigmentos muito bons neste aspecto. Em contrapartida, os pigmentos inorgânicos possuem menor poder de cobertura que os orgânicos. Um terceiro fator divergente é poder de tingimento dos pigmentos, que nos inorgânicos são superiores aos orgânicos. Com base nestas informações, é observado que para a seleção do pigmento adequada, deve-se fundamentar nas seguintes considerações:

- Estabilidade térmica;
- Resistência às intempéries;
- Influência no tempo de gel e cura da resina;
- Poder de cobertura;
- Poder de tingimento.

Com base nas características desejadas para sua aplicação (PLASTIQUÍMICA, 2010).

2.2.4.3 Cargas

A principal justificativa para o uso de cargas minerais na formulação do *gelcoat* se dá a redução dos coeficientes de dilatação térmica e encolhimento da resina em cura. Esta contribuição é importante no caso de peças planas e de espessura reduzida.

O conteúdo da carga varia de acordo com a necessidade de cada aplicação, é importante que não seja muito elevado para não prejudicar as características, como a redução de viscosidade do *gelcoat*.

As cargas aumentam o peso específico do *gelcoat*. Isto deve ser levado em conta na especificação da quantidade de *carga* a ser aplicada para manter a espessura final dentro dos limites desejados (PLASTIQUIMICA, 2010).

2.2.4.4 Solventes

Os solventes utilizados na formulação de *gecoat*, se classificam em duas categorias. A primeira inclui aos redutores de viscosidade com a finalidade de aplicação de *gelcoat* com pistola. Devem apresentar como característica principal, alta volatilidade, ou seja, ter um grau de evaporação suficientemente rápido, de modo a evaporar completamente antes que o *gelcoat* alcance a superfície do molde. Usualmente, o solvente mais comum desta categoria é a acetona, aplica-se de 3 a 5% para a medida de uma pistola de *gelcoat*, com o intuito de redução da viscosidade do material.

A segunda categoria inclui aos solventes formarem parte integrante do *gelcoat* curado. Ao contrário dos solventes incluídos na categoria anterior, estes devem estar previstos de um baixo grau de evaporação, para a efetividade na espessura adequada e cura completa do material de revestimento. O solvente mais comum desta classe é o monômero de estireno (PLASTIQUIMICA, 2010).

2.2.4.5 Agente tixotrópico

O *gelcoat* deve apresentar uma viscosidade suficientemente baixa para que sua aplicação (com brocha, rolo ou pistola), distribuição e nivelção sobre o molde não seja prejudicado. Por outro lado, as camadas líquidas espessas de *gelcoat*, aplicadas sobre superfícies inclinadas tendem a escorrer, o que origina variações sobre a espessura, podendo facilitar o surgimento de rugas, rachaduras superficiais e o *desenho da fibra* através do *gelcoat*. Os problemas do “escorrimento” em paredes inclinadas e suas consequências indesejadas, podem

ser evitadas se o *gelcoat* tiver uma alta viscosidade; entretanto implica na dificuldade de aplicação, distribuição e nivelção do material.

Assim sendo, a viscosidade do *gelcoat* deve satisfazer duas exigências (PLASTIQUIMICA, 2010):

- Possuir uma viscosidade suficientemente baixa durante e imediatamente depois da aplicação, para facilitar a distribuição do *gelcoat* sobre o molde;
- Possuir uma viscosidade suficientemente elevada (depois da aplicação) para reduzir os problemas de escorrimento de *gelcoat* em superfícies verticais.

Estas duas exigências se contrapõe, no entanto, podem ser resolvidas com a ajuda dos agentes tixotrópicos.

Os agentes tixotrópicos são contidos por partículas extremamente pequenas (sílica pirogênica ou argilas organofísicas), com alta tendência de floculação, o que origina um retículo tridimensional que aumenta consideravelmente a viscosidade da resina. Esta estrutura é rompida facilmente por altos níveis de cisalhamentos, aos quais o *gelcoat* é submetido durante a aplicação com uma brocha, pistola ou rolo. Uma vez que se rompe a estrutura floculante, a viscosidade do *gelcoat* passa a ser controlada pelos pigmentos, cargas e base de poliéster. Pelo suposto da refloculação do agente tixotrópico tende a ser restabelecida imediatamente depois da aplicação, o que permite a reparação da elevada viscosidade original (PLASTIQUIMICA, 2010).

2.2.4.6 Absorventes de ultravioleta (UV)

A energia contida nas radiações ultravioletas (UV), podem romper ligações químicas, promover ligações moleculares, alterar a coloração e a quebra da base polimérica de *gelcoat*. Os absorvedores de UV tem função de absorver a energia eletromagnética contida nas radiações ultravioleta e a dissipar de maneira segura sob a forma de calor (LOMBARDO, 2015). Para este propósito, se usa geralmente hidroxibezofenona. A eficácia dos absorvedores de ultravioletas se limita no máximo de 3 anos de uso contínuo. Depois desse período, pode-se proteger superficialmente as partes com pintura adequada para exteriores (PLASTIQUIMICA, 2010).

2.2.5 Maneiras de aplicação de *gelcoat*

O *gelcoat* pode ser aplicado com pincel, rolo de pintor ou de preferência a pistola. A aplicação a pincel tem o inconveniente de deixar marcas e estrias que prejudicam o acabamento superficial (MATHEUS, 2002). Em contrapartida, tem a vantagem de baixa emissão de estireno ao ar quando comparada ao uso da pistola (*GELCOAT PLUS BMBH*, 2010).

Com aplicação da pistola, é possível obter melhor uniformidade de acabamento (MATHEUS, 2002). Porém devido ao uso de spray, forçar o líquido sob alta pressão através de um orifício elíptico, faz com que haja uma separação da resina em uma névoa fina (SALTZ, 2004). Justificando a necessidade de uma área específica para aplicação do *gelcoat*, como uma sala isolada, cuja dimensões sejam suficientes para atender o molde da peça que será confeccionada (ORRO, 2004).

2.2.6 Espessura de *gelcoat*

A espessura do filme de *gelcoat* é muito importante para a integridade do mesmo. Na maioria dos processos utiliza-se uma espessura aproximadamente 0,4 a 0,6 milímetros (mm). Esse intervalo pode sofrer pequenas variações dependendo das especificações do produto (LACOVARA, 2010).

Variações muito bruscas na espessura do revestimento do gel podem causar diversos problemas como: cura incompleta, rachaduras devido a camadas muito finas (LACOVARA, 2010).

As espessuras do *gelcoat* podem ser medidas de duas maneiras, através de um manômetro de nível ou calibrador ultrassônico (YUHAZRI, 2015).

2.2.7 Tipos de ensaios com *gelcoat*

Abaixo serão apresentadas algumas técnicas usuais na caracterização das propriedades físicas de *gelcoats*.

2.2.7.1 Viscosidade Brookfield e índice tixotrópico

A viscosidade Brookfield é determinada a partir do torque necessário para aplicar uma dada rotação a um fuso (*spindle*), com dimensões padronizadas, imerso em uma amostra de um determinado material viscoso na temperatura de ensaio desejada (DANTAS NETO, 2004).

Para fluidos Newtoniano, os quais a tensão de cisalhamento é proporcional à taxa de deformação se deformam continuamente em resposta a uma tensão de cisalhamento aplicada. Dentre estes fluidos, encontram-se os mais comuns, como água, ar e gasolina, em suas condições normais. A viscosidade para o escoamento unidimensional é dada pela seguinte equação (FOX, 2014):

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

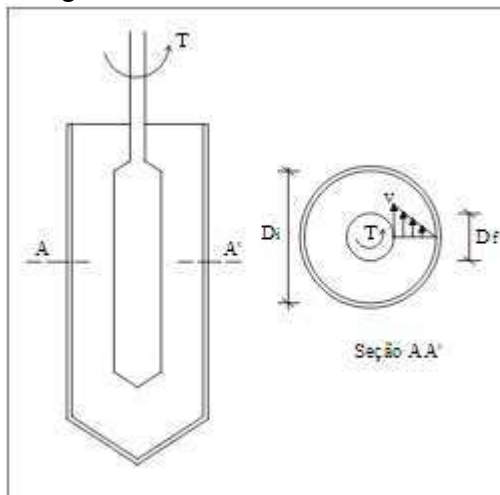
τ : tensão de cisalhamento aplicada ao fluido [Pa];

μ : viscosidade absoluta do fluido [Pa.s];

$\frac{dv}{dy}$: velocidade de deformação angular do fluido [s^{-1}].

O modelo simplificado, esquematicamente mostrado na Figura 1, pode ser utilizado para se determinar a viscosidade rotacional de um fluido com o viscosímetro Brookfield (DANTAS NETO, 2004).

Figura 1 - Modelagem da viscosidade utilizando-se o Brookfield.



Fonte: Dantas Neto (2004).

Admitindo-se um perfil de velocidade do fluido linear, conforme mostrado na Figura 1, a viscosidade medida pelo equipamento Brookfield pode ser calculada como:

$$\mu = \left(\frac{D_i - D_f}{D_f^2} \right) \frac{T}{\omega \pi}$$

Em que :

μ : viscosidade absoluta do fluido [Pa.s];

D_i : diâmetro interno do recipiente que contém a amostra de fluido [m];

D_f : diâmetro do fuso (spindle) [m];

ω : velocidade angular do fuso imerso na amostra [rad/s];

T : torque aplicado ao fuso [N].

A equação mostra como a viscosidade do fluido está relacionada ao torque necessário para manter o fuso com velocidade angular constante, e às dimensões próprias do equipamento (DANTAS NETO, 2004).

O ensaio de viscosidade em *gelcoat* pode ser realizado com auxílio de um equipamento Brookfield Mod.DVIII, como o visualizado na Figura 2. Para *gelcoats* que apresentam viscosidades mais baixas, utiliza-se hastes de número 4, rotacionando a 4 rotações por minuto (rpm) e efetuando a leitura após 2 minutos, aos *gelcoats* de viscosidades mais elevadas são utilizadas 5 hastes a 5 rpm (ORRO, 2004).

Figura 2 - Equipamento Brookfield DV-III



Fonte: Data Recording... (2011)

2.2.7.2 Cor e espectro

A cor é caracterizada por 3 padrões diferentes de análise, quanto à tonalidade; maticidade referente a propriedade que define o grau de abrasividade da superfície (SILVA, 2009) e a claridade. A avaliação é realizada através de uma leitura colorimétrica eletrônica comparando a partir de um padrão existente, onde cada tom está definido com todos os dados colorimétricos particulares. Também pode ser feito análises apenas visualmente, através de uma cabine de pintura com diferentes padrões de iluminação. Visto que o brilho do substrato e sua textura influenciam a percepção da cor, gerando novas informações, devido ao ângulo de incidência e reflexão da luz, promovendo um aumento nas variáveis de análise (ORRO, 2004).

Para o aspecto, utiliza-se de um espectrofotômetro de alto desempenho, observado na Figura 3, para obter valores fiéis a partir de padrões preestabelecidos, e comparados com os obtidos (ORRO, 2004)

Figura 3 - Espectrofotômetro Jenway.



Fonte: Eart Ltda (2013).

O espectrofotômetro é um instrumento utilizado em laboratórios clínicos, tem a finalidade de medir em função da onda longitudinal (espectro), a relação entre valores de uma mesma magnitude fotométrica mediante a dois feixes de radiação. Este equipamento tem aplicação principalmente em análises de substâncias contidas em líquidos biológicos, além de auxiliar a quantificação de substâncias e microrganismos. Este instrumento tem a capacidade de emissão de um feixe de luz monocromática através de uma amostra, permitindo medir a quantidade de luz que é absorvida pela amostra. Isto habilita ao operador, obter informações sobre a natureza da substancia na amostra, além de permitir discriminar a quantidade de substancia de interesse, contida na amostra (GUERRA, 2009).

2.2.7.3 Poder de cobertura e reatividade

Poder de cobertura refere-se à determinação da espessura de gel exigida para cobrir a peça. É efetuado um derramamento do gel sobre um papel com figuras padronizadas (ORRO, 2004).

Os testes de reatividade qualificam as amostras em seus aspectos de reatividade, nos minutos iniciais, quando ocorrem maior liberação de energia (CARVALHO, 2005). Deste modo determinando o tempo de gel e o pico exotérmico que obedecem ao mesmo procedimento, por serem aplicados ao mesmo tempo (ORRO, 2004).

A substância é dita quimicamente ativa quando é capaz de provocar uma reação. A reatividade é medida pela velocidade com que a reação é processada (CARVALHO, 2005).

2.2.7.4 Dureza Barcol

A dureza Barcol é o indicador simples para verificar o grau de cura de resinas termorrígidas, sendo utilizado como parâmetro de controle de qualidade. Através deste ensaio, é possível determinar o tempo mínimo necessário para realizar a desmoldagem do produto final (OLIVEIRA, 1998), medindo a resistência de penetração com auxílio de uma ponta de agulha conforme a norma ASTM D2583, posteriormente a aplicação do material de revestimento no laminado (ORRO, 2004). O dispositivo utilizado para essas medições é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Durômetro Barcol.



Fonte: Barcol Hardness... (2016)

2.2.8 Comportamento em contato com água

Estudos que compreendem o uso do *gelcoat* contra o efeito da absorção de água em compósitos, bem como Yun-Hankin et al. (2011), relatam que, geralmente, os principais motivos para que um material de estrutura de compósito seja degradado são, o ambiente que o material é exposto a possíveis variações de temperatura, umidade e incidência de raios ultravioleta.

Segundo Orro, (2004), a qualidade do catalisador em percentuais diferentes aos que é recomendado pelos fabricantes ocasionam problemas ligados ao

processo de cura, e conseqüentemente interferem na capacidade do *gelcoat* resistir ao contato com a água.

Quando uma matriz de compósito orgânico é exposta ao ambiente úmido ou líquido, tanto a temperatura quanto a umidade do material podem alterar com o tempo. Essas alterações geralmente degradam as propriedades mecânicas dos laminados. O estudo de absorção de água com compósitos é baseado seguindo em alguns parâmetros como função do tempo (GREENE, 1999):

- A quantidade total de material (massa) da umidade dentro do material;
- A umidade e temperatura induzida a condicionamentos *higrotérmico*, ou seja, seus condicionamentos em câmaras de controle de temperatura e por imersão em água (FARIA, 2008);
- As alterações dimensionais para o material e
- As alterações das propriedades mecânicas, químicas, térmicas ou elétricas.

2.2.8.1 Blister

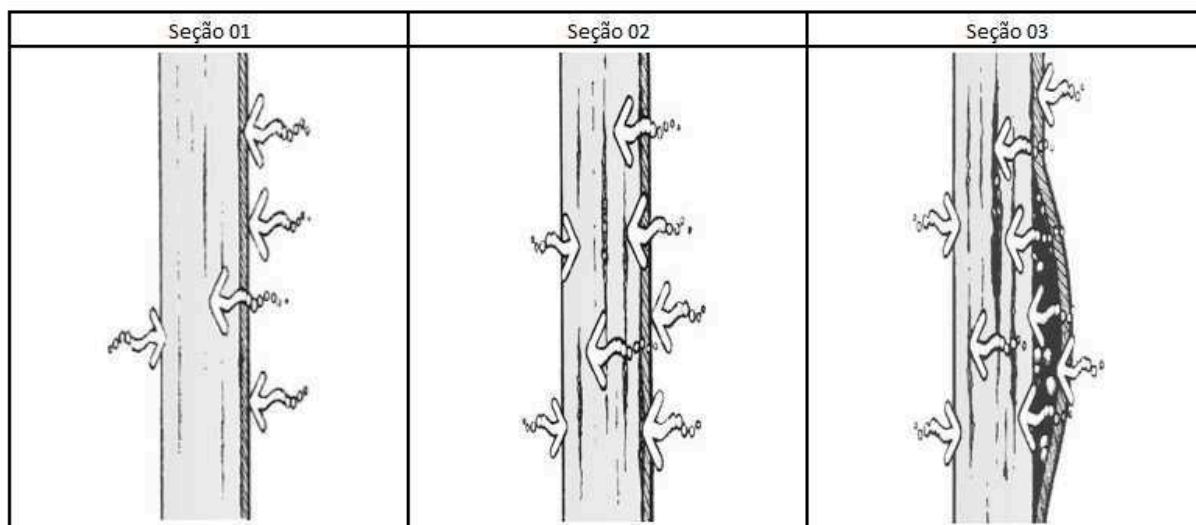
Blister são por definição materiais aprisionados a espaços vazios entre o laminado e o *gelcoat*, ou no interior do laminado.

O *gelcoat* atua no laminado como uma membrana semipermeável, em contato a uma coluna de água. Permitindo que poucas moléculas de água se movam da área de maior concentração para área de menor concentração (espaços vazios), também conhecido como osmose, como visualizado no Quadro 1, Seção 01.

Com a expansão dos espaços vazios devido a pressão hidráulica, mais moléculas de água são atraídas para os espaços vazios, como observado no Quadro 1, Seção 02 (West System® Epoxy, 2007).

As moléculas do fluido continuam acumulando nos espaços vazios, resultando numa pressão hidráulica suficiente para formação de uma bolha entre o *gelcoat* e o laminado (WEST SYSTEM® EPOXY, 2007). Resultando na ilustração apresentado no Quadro 1, Seção 03.

Quadro 1 – Blister.



Fonte: West System® Epoxy (2007, p.4).

3 METODOLOGIA

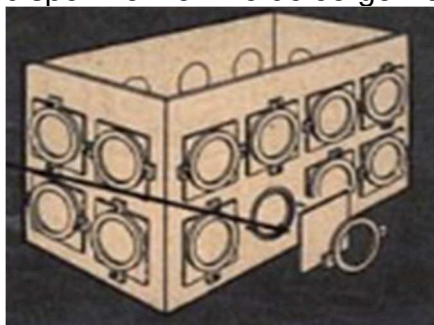
A metodologia deste trabalho foi dividida em três etapas. A primeira etapa consiste em uma busca na literatura de equipamentos e aparatos similares ao idealizado, que funcionam com o mesmo objetivo deste projeto. A segunda etapa destina-se ao projeto e confecção do aparato. Já na terceira etapa é apresentado experimento de quatro diferentes laminados com o aparato montado.

3.1 EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA

Na literatura não foram encontradas descrições detalhadas de equipamentos similares ao objeto deste trabalho. No geral, foram identificados três equipamentos funcionaram como base para confecção do mesmo. Estes serão discutidos a seguir.

Orro, diretor geral da Cray Valley do Brasil, especialista em resinas e *gelcoat*, em estudo disponível no livro da ALMACO, Compósitos 1, apresenta a ilustração de um aparato em ensaios de desempenho de *gelcoat*, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Aparato disponível no livro do Jorge Nasseh Compósitos 1



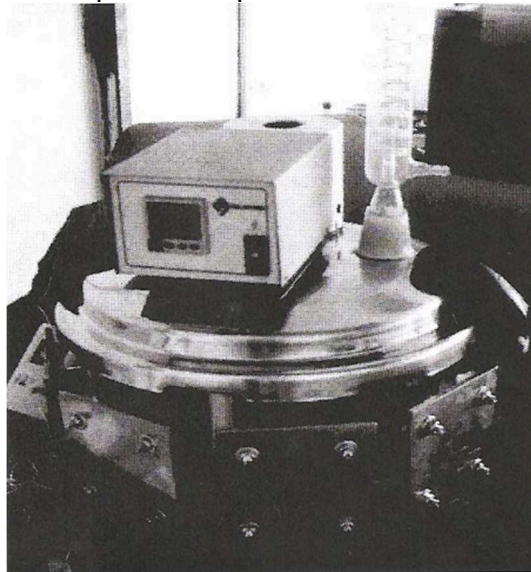
Fonte: Nasseh (2004, p. 99).

Devido inexistência de outras informações do aparato, buscou-se informações e ideias com especialista da área, para elaboração deste equipamento.

Em contato com especialista da área de compósitos, informou que estes aparatos são desenvolvidos em materiais de alto custo e desempenham objetivo experimental. Segundo o profissional, são produzidos de aço inoxidável, devido a necessidade de resistir à corrosão da água salgada, além de dispor de sistemas auxiliares dentro de um espaço confinado, denominado “cuba”. Dentre estes componentes, apresentam um controlador de temperatura, um motor de pequeno porte e uma bomba para a recirculação da água. Outra preocupação é o sistema de vedação, garantido por tampas geralmente de vidro temperado, proporcionando impermeabilidade e um isolamento térmico ao equipamento. Uma terceira cautela, dá-se ao uso de borrachas com a resistência adequada na região de boca de acesso, de modo a fixação dos laminados na transição cuba/laminado.

Um dispositivo semelhante ao visto no estudo anterior, é o ensaio físico de compósitos desenvolvido com o objetivo de avaliar o comportamento dos filmes de gel na superfície dos laminados reforçados com fibra de vidro, submetidos à exposição em condições de severas agressões, detalhado por Forte (2008), replicado na Figura 6. Embora o autor não forneça informações sobre o material utilizado em seu artigo, junto as informações relatadas pelo especialista contatado, pode-se notar que se refere a um artefato metálico, as condições com que Forte (2008), descreve seu dispositivo, remete a aço inoxidável devido suas simulações atribuírem o uso de água salgada e altas temperaturas.

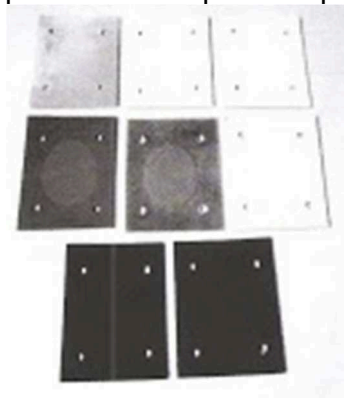
Figura 6 – Aparato disponível no estudo de Forte.



Fonte: Forte (2008, p. 5).

O procedimento teste do autor, foi inicialmente anotar o peso de cada corpo de prova, confeccionado de fibra de vidro, disposta de uma dimensão quadrada $125 \times 125 \text{ mm}^2$ por 25 mm de espessura, como pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 - Corpos de Prova para o aparato de Forte.



Fonte: Forte (2008, p. 5).

Para o posicionamento dos corpos de prova, o equipamento é disposto de flanges em seu exterior, com fixação por arruelas, parafusos e por fim aplicação de um selante de silicone, garantindo sua vedação.

Na parte superior da tampa, verifica-se o sistema de controle térmico de segurança do equipamento. O qual é regulado a uma temperatura de 60°C , composto por um condensador extrator e um termômetro com sinal sonoro. O

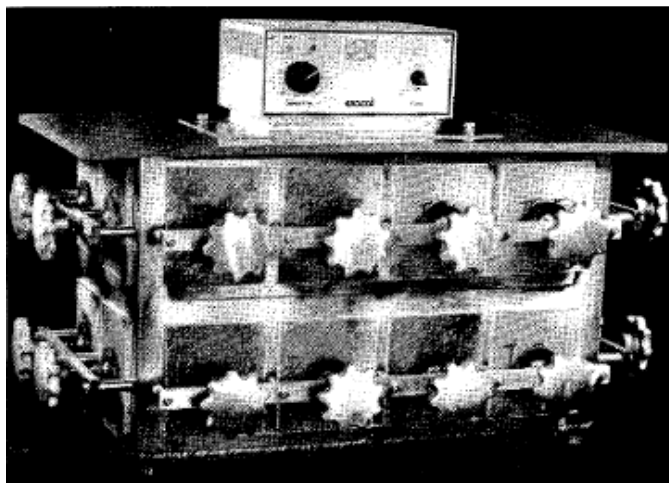
autor especifica o uso de um termostato e uma resistência elétrica, que auxiliam o sistema de aquecimento dentro do recipiente. O alarme soa à medida que o sistema percebe alguma anormalidade do funcionamento dos componentes, seja redução do nível de água, elevação da temperatura ou queima da resistência do aquecedor.

Um terceiro sistema conferido ao equipamento é o de recirculação interna do fluído, composto por uma bomba proporcionando um fluxo constante do líquido, conseqüente uma maior uniformidade ao ensaio.

Por fim, o terceiro aparato disponível na literatura desenvolvido e construído pela Engelhard (Figura 8), tem como objetivo de expor a superfície de *gelcoat* em água, a temperatura constante, sobre uma área circular de 95,25 mm (3,75”) de diâmetro durante todo o período de teste. O teste é acelerado, a temperatura de 65°C em água salgada, com o intuito de uma predição efetiva, simulando um longo período dos laminados náuticos em contato a água salgada. O ensaio teve duração de 1150 horas, avaliando o grau de formação de bolhas no laminado, com uma escala variando de 0,0 (sem formação de bolha) a 3,0 (severa formação de bolha), em laminados de mesmas condições dimensionais e estruturais, porém diferentes pigmentos e resinas de *gelcoat* (WASHABAUGH, 1990).

Pode-se observar na Figura 8, o aparato é semelhante aos já discutidos anteriormente, um dispositivo de aço inox, com um controlador térmico, porém com forma de fixação distinta dos corpos de prova.

Figura 8 - Aparato disponível no estudo de Engelhard



Fonte: Washabaugh (1990, p. 3).

3.2 PROJETO UTILIZANDO FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Com base nos resultados encontrados na literatura e em contato com especialistas na área, foi desenvolvido o projeto do aparato. Para melhor compreensão do equipamento alvo deste estudo, utilizou-se o auxílio da ferramenta SolidWorks®.

O SolidWorks® é um software *Computer Aided Design (CAD)* específico para modelagem sólida paramétrica variacional, o qual tem como finalidade o desenvolvimento de desenhos e/ou projetos em 2D (duas dimensões) e em 3D (três dimensões) (SOUZA, 2002).

Além da literatura, especialistas na área foram consultados. Em fase inicial do projeto, houve uma consulta com a empresa Nova Scott Especialidades Químicas Limitada localizada no município de Serra, Espírito Santo.

Já em fase mais avançada, na busca de solução na elaboração de mecanismo para vedação de um sistema de acoplamento do contato laminado/aparato, houve reunião em uma indústria de plásticos, localizada nas proximidades do campus da UFSC Joinville, com o especialista na área de projetos.

3.3 PREPARAÇÃO PARA ENSAIO DO APARATO

Com o objetivo de testar o funcionamento do aparato, os corpos de prova foram selecionados de fibra de vidro, em fibra fabricadas no processo *hand lay up*, em 3 camadas, intercalando 2 (duas) camadas de manta em 1 (uma) camada de tecido. Depois as amostras foram lixadas para garantir a aderência do *gelcoat* ao laminado, conforme Figura 9.

Figura 9 - Laminado Lixado para aplicação do *gelcoat*



Fonte: Autor (2016)

O passo seguinte foi a divisão em quatro áreas de mesma dimensão 12,5 x 21,3 cm², para aplicação dos 3 *gelcoats* de fornecedores diferentes, ambos da cor branca fabricados com resina ortoftálicas (A, B e C), e um dos espaços sem *gelcoat* (D). Para a preparação e aplicação do *gelcoat* foram necessários alguns materiais e equipamento auxiliares:

- 3 trinchas para aplicação do gel;
- 3 copos plásticos;
- Balança de precisão.

Na Figura 10 a seguir, são apresentados esses itens.

Figura 10 - Materiais para Mistura do gelcoat com Iniciador



Fonte: Autor (2016).

Antes da aplicação do *gelcoat* sobre o laminado, com base ao fornecedor Embrapol (2016), verificou-se que é recomendada a dosagem de 1,0 a 3,0% do peso de *gelcoat*, para evitar os problemas com a cura do material. Deste modo verificou-se que para a aplicação de gel na área 12,5 x 21,3 cm², seria necessário de um volume de aproximadamente 1,5g de iniciador para 56 ml de *gelcoat*. O processo de aplicação do *gelcoat* é ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Aplicação do *Gelcoat* "A" na Placa de Teste.

Fonte: Autor (2016).

A aplicação do filme de *gelcoat* ao laminado, passou por um processo de cura de 48 horas em ar a temperatura ambiente (25°C). Verificado a cura completa do material, o mesmo foi cortado em seção quadrada de 14 x 14 cm² e furado conforme o posicionamento dos corpos de prova ao acoplamento do aparato.

Posteriormente a construção do aparato, foi realizado ensaio para avaliar o funcionamento identificando eventuais problemas e melhorias a serem realizadas. As amostras foram previamente pesadas em balança digital, Metler AT250, ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Balança Digital Metler AT250



Fonte: Autor (2016).

Após o confeccionamento e a pesagem das amostras, as mesmas foram fixadas ao aparato e submetidas a água salgada a temperatura constante de 32°C. A água salgada depositada ao aparato foi coletada da Baía da Babitonga de São Francisco do Sul, local selecionado devido seu fácil acesso, com um período de coleta de água semanal, para controle de nível de água no equipamento. Verificado o nível de água adequado, foi acionado o termostato, conectado em contato elétrico paralelo ao aquecedor d'água de 20 W.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os componentes juntamente a justificativa e a solução dos problemas apresentados durante toda elaboração do projeto do aparato de teste. Logo após, serão apresentados os resultados obtidos com o equipamento já montado.

4.1 CONSTRUÇÃO E SELEÇÃO DOS MATERIAIS DO APARATO

A seleção dos materiais foi fundamentada pela sua funcionalidade e custo benefício de cada componente. Abaixo estão descritos todos os componentes do aparato bem como o seu sistema de controle de temperatura.

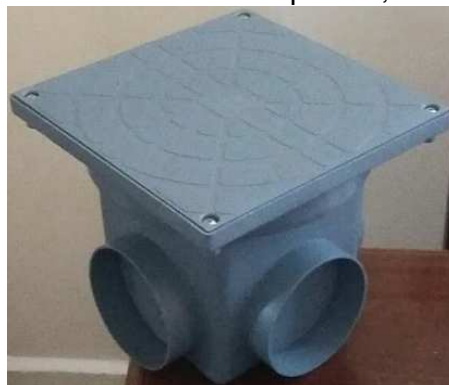
4.1.1 Estrutura do aparato

Para dar início a construção do aparato e dar sequência a seleção dos demais materiais, a estrutura foi escolhida como ponto fundamental e principal para execução deste trabalho.

Avaliando que os aparatos referenciados anteriormente, observa-se que os mesmos apresentavam alto custo devido a sua matéria prima, buscou-se substituir a estrutura em aço inox, por um material polimérico.

A partir dessas características, buscou-se no mercado uma peça que atendesse as necessidades de resistência estrutural e opacidade para realizar os testes. A peça escolhida trata-se de uma caixa de inspeção e passagem de esgoto, fabricado em material polimérico de polipropileno conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Estrutura do Aparato, Caixa PP.



Fonte: Autor (2016).

Selecionada devido ao seu baixo custo e sua durabilidade avaliando ser um dispositivo susceptível à água salgada, sem a oxidação e/ou degradação do material, garantindo a integridade estrutural do material até uma temperatura de a 45°C, como especificado na norma de referência NBR8160. A Figura 14 apresenta algumas características do componente.

Figura 14 - Manual da caixa de inspeção e passagem de esgoto.

Composição Básica: PP (Polipropileno)
Basic Composition: PP (Polypropylene) / Composición Básica: PP (Polipropileno)
Pressão Máxima: Sem Pressão/ Passagem Livre
No pressure/ Free passage / Presión Máxima: Sin Presión/Paso Libre
Cor: Cinza
Color: Gray/Color: Gris
Temperatura máxima: 45°C
Maximum Temperature: 45°C / Temperatura máxima: 45°C
Normas de Referência: NBR 8160
Reference Standards: NBR 8160/Normas de Referencia: NBR 8160

Fonte: Durin (2016).

Outro fator decisivo para seleção deste componente, dá-se pela uniformidade da seção interna não apresentar ranhuras e/ou variações na superfície, como pode ser observado na Figura 15, evitando variações das pressões internas, geradoras de inconsistências aos resultados.

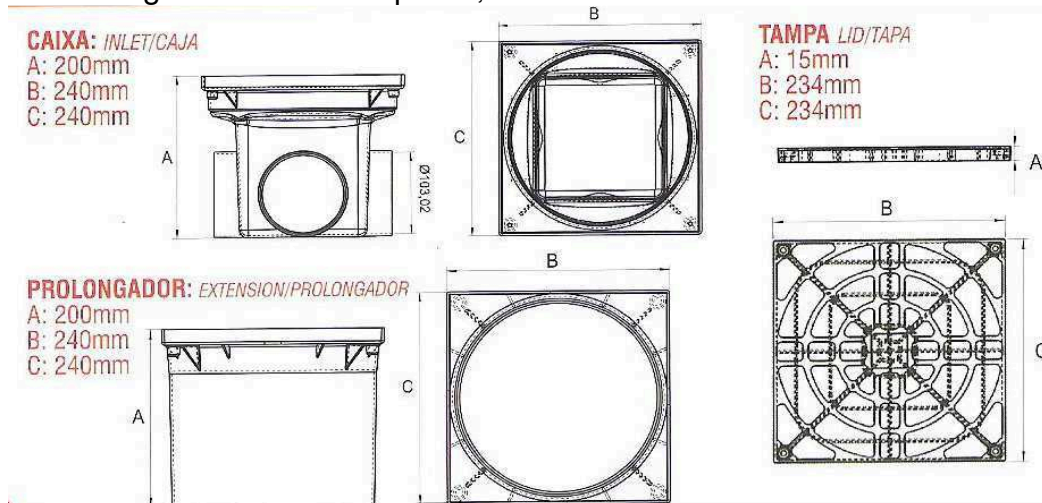
Figura 15 - Seção interna da caixa em PP



Fonte: Autor (2016).

Este material é comercialmente conhecido como caixa de passagem e inspeção de esgoto Durin, com dimensões de 240 mm x 200 mm x 240 mm, como consta extraído do manual do equipamento observado na Figura 16, com uma capacidade volumétrica de 4,5 litros e 4 saídas de 103,02 mm de diâmetro.

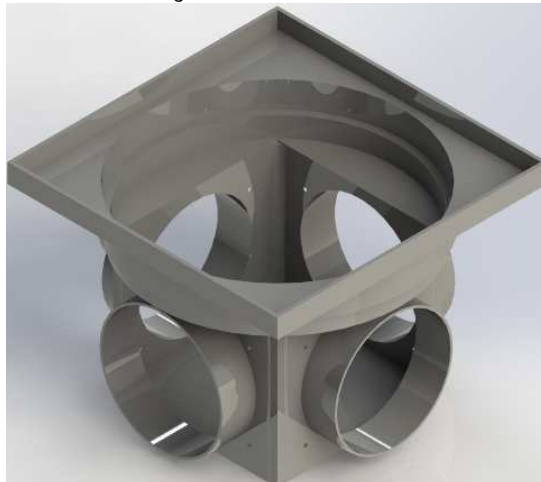
Figura 16 - Vista superior, frontal e direita da caixa em PP.



Fonte: Durin (2016).

Com base no croqui estrutural deste equipamento, pode-se desenhar em programa CAD para um melhor detalhamento do projeto, como pode ser verificado na Figura 17.

Figura 17 - Simulação da estrutura da caixa em PP.



Fonte: Autor (2016).

4.1.2 Saída de acesso para o laminado

Em virtude a superfície do aparato/laminado apresentar uma borda delgada dificultando a vedação, buscou-se uma alternativa para aumentar esta área de contato. A solução proposta foi a seleção de quatro capas de vedação de PVC 100 mm, ilustrada na Figura 18.

Figura 18 - Capa de Vedação PVC 100mm.



Fonte: Autor (2016).

Como elemento de prolongamento foi utilizado um cano de PVC 100mm, devidamente medido e cortado, com um comprimento de 8 centímetros cada, distância compreendida entre a parte interna da saída da caixa de inspeção até a parede interna da capa de esgoto, como apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Cano em PVC 100mm.



Fonte: Autor (2016).

Usualmente tanto a capa de vedação 100 mm tanto o cano de PVC 100 mm tem finalidade comercial em aplicação a passagem de rede esgoto. A montagem sucedeu no acoplamento do cano de PVC na capa de PVC 100mm e posteriormente inserindo a caixa PP, como visto na Figura 20.

Figura 20 – Acoplamento de cano e capa de PVC via caixa PP.



Fonte: Autor (2016).

Em um teste inicial, notou-se o vazamento devido a capa de vedação de PVC 100 mm apresentar um vão para encaixe. Diante deste fato inseriu-se um anel de vedação de borracha 100 mm. (Figura 21)

Figura 21 - Anel de vedação 100mm.



Fonte: Tubo e conexões Tigre (2016).

Para efetuar o acoplamento, posteriormente a inserção do anel de vedação de borracha verificou-se a necessidade de utilizar vaselina líquida industrial, como observado na Figura 22, visando facilitar a posição do cano no interior da capa de PVC.

Figura 22 - Vaselina líquida industrial



Fonte: Autor (2016).

Em seguida é apresentado o conjunto montado com o posicionamento das capas, canos e anéis de vedação, e a verificação da vedação do “corpo do aparato”, inserindo água até a superfície circular superior do aparato, como observado na Figura 23.

Figura 23 - Teste de vedação do acoplamento de saída.



Fonte: Autor (2016).

Para a abertura de uma região de teste, foi furada a capa de PVC 100mm, com auxílio de uma furadeira com serra copo de 60 mm, pois era o maior diâmetro

de serra copo disponível. O resultado da integração desses elementos é verificado na Figura 24.

Figura 24 - Furo do Acoplamento de Saída.

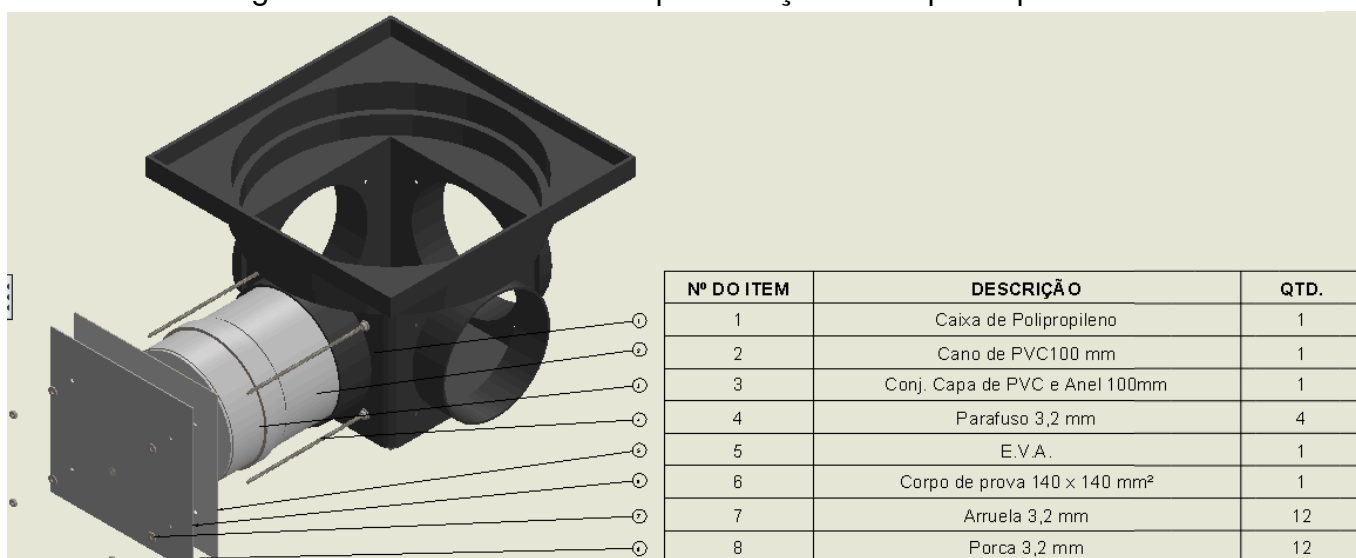


Fonte: Autor (2016).

4.1.3 Sistema de fixação

O sistema de fixação consiste em um acoplamento para fixação do corpo de prova. O conjunto é composto por parafusos, arruelas, barras roscadas e E.V.A, para cada uma das saídas da caixa. Como pode ser observada na lista de materiais na Figura 25 a seguir.

Figura 25 – Lista de materiais para fixação do corpo de prova.



Fonte: Autor (2016).

Como visualizado na Figura 25, o sistema de fixação selecionado para cada saída é dada por 4 parafusos com 3,2 mm de diâmetro e 120 mm de comprimento por unidade, anexo a cada parafuso estão instalados 3 porcas e 3 arruelas com 3.2 mm de diâmetro cada. Sendo um conjunto de porca e arruela para travamento do corpo de prova e os outros dois conjuntos para travamento do parafuso a caixa de polipropileno, conforme visualizado na Figura 26.

Figura 26 - Acoplamento de Fixação.



Fonte: Autor (2016).

Seguindo a montagem, com o acoplamento já desenvolvido, é inserido o material etil vinil acetato (E.V.A) entre o corpo de prova e a capa de PVC acoplada ao aparato. Este material é um copolímero, formado pelo encadeamento de sequências aleatórias de polietileno e poli (acetato de vinila) (PVA). Devido em sua composição apresentarem células fechadas, diminui a absorção de água ao material, além de seus teores entre 18-28% de acetato de vinila, conferirem a alongação de ruptura e de resistência ao impacto, além de apresentarem baixo módulo de elasticidade.

Com base nestas características, observou-se a possibilidade de sua aplicação, para suavizar as pressões entre o aparato e o corpo de prova além de promover estanqueidade em regiões de contato do laminado ao aparato.

4.1.4 Sistema de controle de temperatura

Avaliando o tempo de ensaio dos corpos de prova e buscando uma análise mais aprimorada, optou-se em acelerar o processo de degradação do material, elevando a temperatura da água com artifício de um aquecedor e um termostato a uma temperatura de 32°C. O recomendado é que a potência deste tipo de aquecedor, geralmente com aplicação em aquários, seja de 1 Watt para 1 Litro de água (FERREIRA, 2009). O aquecedor posicionado na superfície interna inferior da caixa de PVC é apresentado na Figura 27, com uma potência de 20 W, o qual é recomendado para aquecimento de até 20 litros de água, volume superior ao aproximado do equipamento de 5 litros de água, selecionado devido seu baixo custo e fácil disponibilidade comercial.

Figura 27 - Aquecedor Térmico.



Fonte: Autor (2016).

Inicialmente o controle de temperatura foi realizado manualmente, com auxílio de um dimmer rotativo, como pode ser observado na Figura 28.

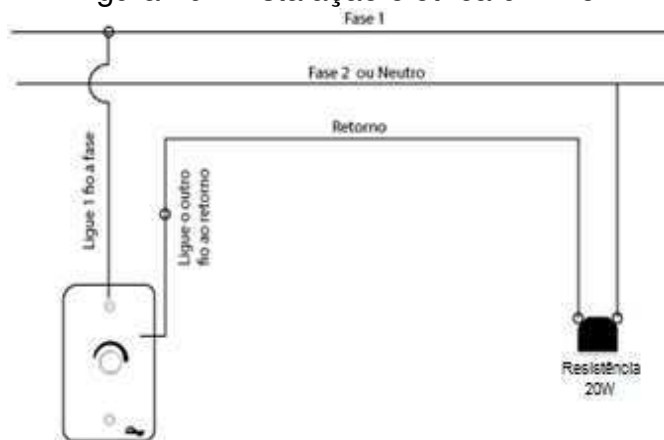
Figura 28 - Dimmer Rotativo e Aquecedor



Fonte: Autor (2016).

Ele foi ajustado através de um dispositivo físico rotativo, selecionando a potência do aquecedor desejada. A conexão elétrica é realizada, como demonstrado no manual do dimmer rotativo, ilustrado na Figura 29, através de um contato em paralelo a resistência do aquecedor.

Figura 29 - Instalação elétrica dimmer.



Fonte: Techna (2016).

Com o auxílio de um termômetro culinário digital ponta de agulha, é realizado o controle da temperatura, aferindo o valor ajustado a potência do aquecedor.

A seleção deste dispositivo de medição, apresentado na Figura 30, deu-se devido seu baixo custo e a possibilidade de varredura de uma longa faixa de temperatura, de acordo com a especificação técnica do equipamento, variando de -50 a 300°C (-58°F a 572°F), com um erro de aproximadamente $1^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$ para mais ou para menos.

Figura 30 - Termômetro ponta de agulha digital.



Fonte: Autor (2016).

Outro dispositivo selecionado, com o intuito de obter maior confiabilidade e segurança do sistema de aquecimento, foi a substituição do *dimmer* rotativo por um controlador automático de temperatura, termostato, demonstrado na Figura 31.

Figura 31 – Termostato.



Fonte: Autor (2016).

Após a seleção e montagem de todos os componentes auxiliares, a Figura 32 apresenta o equipamento em fase de testes.

Figura 32 - Aparato em funcionamento



Fonte: Autor (2016)

Nesta fase o aparato encontra-se em funcionamento com água salgada, que inicialmente verificaram-se alguns vazamentos facilmente solucionados com pequenos ajustes nos parafusos e com auxílio de silicone, realizou o selamento das roscas e arruelas posicionados na parte externa da caixa de PVC. A alteração do sistema de controle de temperatura durante a elaboração do projeto conferiu ao

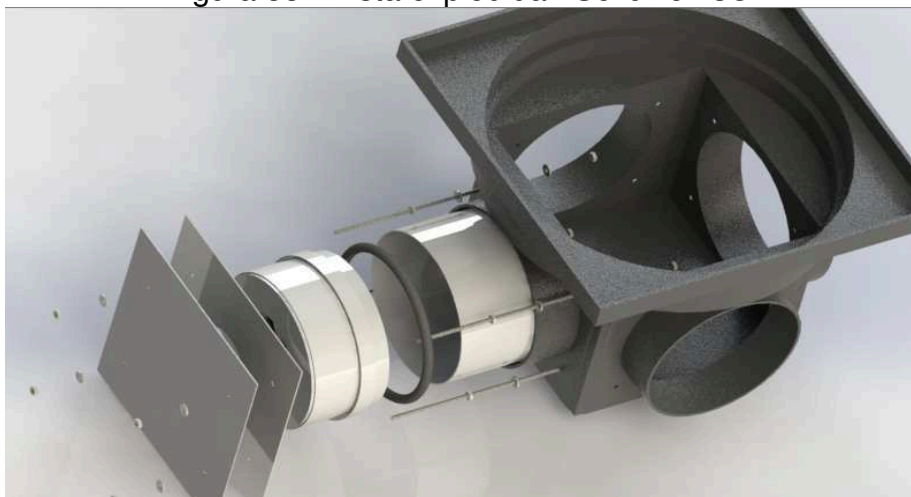
equipamento, a necessidade de ensaiar o equipamento parcialmente coberto com a tampa da caixa de PVC.

4.2 PROJETO EM CAD DO APARATO

Após a avaliação e a seleção de todos os componentes, montagem do aparato e verificação do seu funcionamento, realizou-se a modelagem do equipamento no programa SolidWorks®. Visando facilitar a compreensão e a montagem do dispositivo, realizou-se a vista explodida em 3D.

Na Figura 33, pode-se verificar a presença de cada componente discutidos nas seções anteriores.

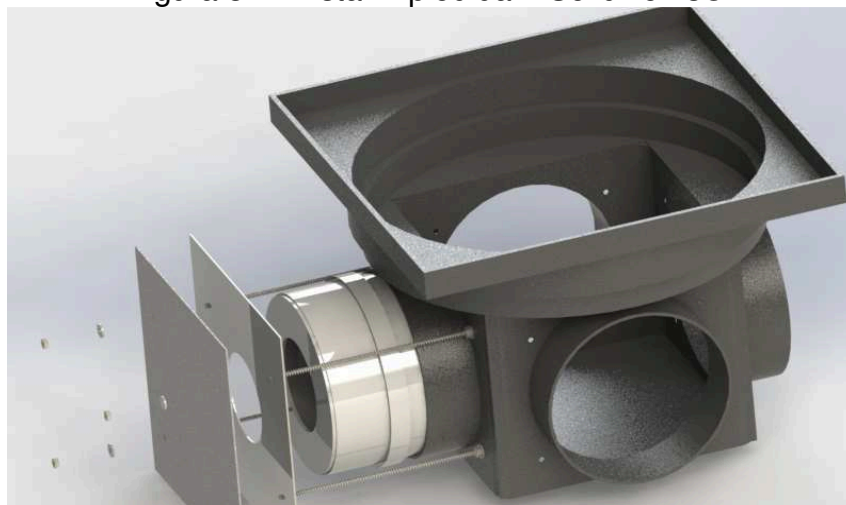
Figura 33 - Vista explodida I Solidworks®.



Fonte: Autor (2016).

Na segunda vista explodida na Figura 34 demonstra-se o acoplamento da capa de PVC ao cano de PVC e o anel de vedação, além do conjunto de parafuso 3,2mm, composto de rosca e arruela externa, já devidamente fixada a caixa de PP.

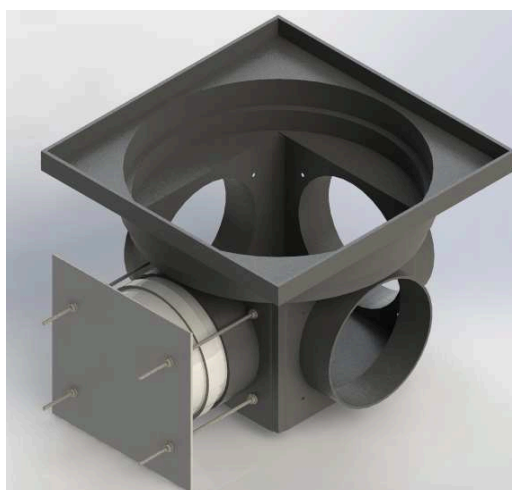
Figura 34 - Vista Explodida II Solidworks®.



Fonte: Autor (2016).

A Figura 35, possível verificar o acoplamento e fixamento do E.V.A e do corpo de prova, com o auxílio das rocas e arruelas.

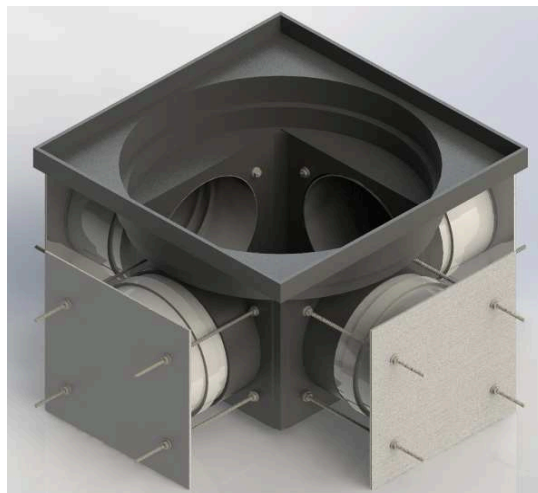
Figura 35 - Projeção Acoplamento Laminado Fixado.



Fonte: Autor (2016).

O mesmo é reproduzido nas demais saídas, como verificado na Figura 36.

Figura 36 - Reprodução dos 3 lados restantes.



Fonte: Autor (2016).

4.3 CUSTOS DOS MATERIAIS

Como um dos objetivos deste trabalho é o baixo custo no desenvolvimento do aparato, os materiais utilizados são listados e relacionados com o seu valor de compra. Obtem-se o custo total do equipamento de R\$ 227,68.

Tabela 3 - Cotação de Preço dos Materiais para Montagem do Aparato.

Material	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valor Total
Anel Vedação p/ Esgoto 100mm Krona	4	peça	R\$ 2,30	R\$ 9,20
Aquecedor 20 W	1	peça	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Arruela Inox 3/8"	48	peça	R\$ 0,20	R\$ 9,60
Barra Roscada Inox 3/8" de 1 metro	2	peça	R\$ 7,00	R\$ 14,00
Caixa de Passagem e Inspeção de Esgoto	1	peça	R\$ 52,00	R\$ 52,00
Cano de Esgoto de PVC 100 mm de 1 m	1	peça	R\$ 8,50	R\$ 8,50
Capa de Esgoto de PVC 100 mm	4	peça	R\$ 4,30	R\$ 17,20
E.V.A.	1	peça	R\$ 1,80	R\$ 1,80
Porca Inox 3/8"	48	peça	R\$ 0,20	R\$ 9,60
Termômetro em forma de agulha	1	peça	R\$ 34,98	R\$ 34,98
Termostato	1	peça	R\$ 65,00	R\$ 65,00

Fonte: Autor (2016).

4.4 ENSAIO UTILIZANDO O APARATO MONTADO

O experimento teve aproximadamente duração de 552 horas e foram testadas 4 diferentes condições:

- 3 condições com fornecedores distintos de *gelcoat* fornecedor A, fornecedor B e fornecedor C;

- 1 condição sem aplicação do *gelcoat*, corpo de prova D;

Ao fim do experimento, mediu-se o peso final de cada corpo de prova e calculou-se a quantidade de água absorvida em percentual, conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Absorção de água de diferentes corpos de prova.

Laminado	Inicial (g)	Final (g)	Diferença (g)	água (%)
A	89,328	89,459	0,131	0,15%
B	99,697	99,887	0,19	0,19%
C	87,06	87,169	0,109	0,13%
D	92,753	92,956	0,203	0,22%

Fonte: Autor (2016).

Pode-se verificar que o corpo de prova que estava diretamente em contato com a água, ou seja, sem a aplicação do *gelcoat*, absorveu uma quantidade superior de massa de água (0,22%) em seu laminado, seguido do laminado B, o qual verificou a formação de *blister*, efeito da osmose discutido na seção 2.2.7.1, posteriormente o laminado A e por fim o laminado C.

Estes resultados estão em concordância com a literatura apresentada. Na Quadro 2 pode-se verificar uma imagem do laminado antes e depois do ensaio.

Quadro 2 - Corpo de prova, pré e pós ensaiados.



Fonte: Autor (2016).

Com o auxílio do espectrofotômetro ou uma cabine de pintura com diferentes padrões de iluminação, poderia-se obter uma análise visual mais detalhada e prover mais resultados. Entretanto, este não era o objetivo deste trabalho e pode ser sugestão para estudo futuro.

De qualquer forma, durante o ensaio final, o aparato montado funcionou corretamente, sem presença de vazamentos e ou ocorrência de imprevistos. O aparato será alocado no Laboratório de Fabricação de Modelos na UFSC Joinville e destaca-se como importante ferramenta para simular, de forma simples ambientes marinhos e realizar testes em placas finas.

5 CONCLUSÃO

Com base na literatura existente e consultas a especialistas foi projetado um aparato para testes de absorção de água com sistema de controle de temperatura. A partir deste projeto foram selecionados os materiais e componentes adequadas, de forma a cumprir com objetivo de apresentar baixo custo. O custo total de materiais para o projeto foi de R\$ 227,68 (duzentos e vinte e sete reais e sessenta e oito centavos). Durante testes iniciais foi avaliada a vedação do sistema, que inicialmente apresentou alguns vazamentos, porém com uma fixação mecânica adequada e o selamento com silicone, a vedação foi garantida. Posteriormente ao acionamento do sistema de aquecimento a vedação permaneceu garantida até o final do experimento.

Para verificar o comportamento do equipamento em testes foi realizado ensaio com 3 fornecedores diferentes de gelcoat e um laminado sem a aplicação de gelcoat. O laminado sem o gelcoat apresentou absorção de água maior que os demais, em concordância com a literatura.

Avaliando os diferentes fornecedores de gelcoat houveram algumas diferenças de resultados identificados, que podem estar vinculadas a formulação ou mesmo ao método de aplicação dos mesmos.

O aparato se mostrou uma importante ferramenta para análises em água e temperatura de laminados, podendo gerar dados qualitativos e quantitativos com auxílio de balança de precisão. Além disto, o equipamento ficará disponível para posteriores trabalhos de iniciação científica e conclusão de curso no Laboratório de Fabricação de Modelos da UFSC Joinville.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no estudo e conhecimento adquiridos no desenvolvimento do projeto conceitual de extensa revisão bibliográfica e levando em conta os resultados obtidos, as seguintes melhorias podem ser aplicadas.

6.1 MELHORIAS NO APARATO

1 - Desenvolver sistema de circulação de água, capaz de simular a constante movimentação do fluido que a amostra de material compósito está submetida no ambiente marinho, por exemplo como a utilização de bombas de ar, utilizadas em aquários.

2 - Posicionar e/ ou confeccionar suporte para termostato na tampa da caixa de PVC, com a finalidade de realizar ensaios com a tampa cobrindo totalmente o experimento.

6.2 MELHORIAS NOS TESTES

1- Elaborar teste de calibração do equipamento, utilizando quatro laminados com o mesmo fornecedor de *gelcoat*, avaliando os valores de ganho mássico, para certificação do funcionamento do aparato.

2- Aferir os valores de ganho mássico, em espaços de tempos mais frequentes durante todo o tempo de ensaio, com o aumento da temperatura de controle e aumento na duração do ensaio, para maior sensibilidade dos ganhos mássicos.

3- Auxílio do espectrofotômetro ou uma cabine de pintura com diferentes padrões de iluminação, para maior sensibilidade da variação do brilho e cor, como o amarelamento dos corpos de prova.

REFERÊNCIAS

ALAM, S. et al. **Effect of orientation of glass fiber on mechanical properties of GRP composites**. Pakistan Institute of Technology for Minerals and Advanced Engineering Materials. PCSIR Labs Complex Ferozpur Road, 2010.

BARCOL HARDNESS IMPRESSOR. **Youtube**, 04/08/2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=RRDg1ZmG6Xg>>. Acesso em abr.2016.

BENTO, I. E. **Recuperação do corante antraquinona do efluente têxtil e estudo de sua reutilização no processo industrial**. 2013. 45p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2013.

BORGES, S. G. **Síntese e Caracterização de resinas fenólicas líquidas do tipo novolaca aplicáveis no processo de pultrusão**. 2004. 112p. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

CARVALHO, M. D. **Correlação das microestruturas de amostras de dolomitas do quadrilátero ferrífero, MG com as temperaturas iniciais de hidratação das dolomas**. 2005. 222p. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

CFS Fibras de Vidro. **Guia de Cura de Gelcoat e Separação de pigmentação**. Reino Unido: Redruth, 2016.

CUNHA, J.; FOLTÊTE, E.; BOUHADDI, N. **Aplicação da técnica de ajuste de modelos em estática para identificação da rigidez de ligações parafusadas de perfis pultrudados**. 2006. 35p. Artigo Científico - Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, 2006.

DANTAS NETO, S.A.; FARIAS M.; PAIS J. Modelagem da viscosidade absoluta dos asfaltos-borracha usando redes neurais artificiais. In: XVIII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. Curitiba, PR. p. 28-39. **Anais...** 24 a 28 de novembro de 2014.

DATA RECORDING FOR VISCOSITY TEST. **Youtube**, 27/7/2011. Disponível em:<<https://www.youtube.com/watch?v=E9c-SfptJnQ> (2012)>. Acesso em: abr. 2016.

FARIA, M. C. M. **Avaliação do efeito higrotérmico nas propriedades mecânicas de compósitos de pps/fibras contínuas**. 2008. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, Campus de Guaratinguetá, 2008.

FERREIRA, C. et al. **Sistema de sensor de temperatura para acionamento automático de aquecedor de aquário**. 2009. 22 p. - Trabalho Acadêmico. Curso - Engenharia de Computação. Universidade Tecnológica Federal Paraná. Curitiba, 2009.

FORTE, M. **Boiler teste hidrolise e blistering**. Área de Materiais Compósitos e Polímeros. São Paulo: COOPMACO, 2008.

FOX, R.; MCDONALD'S, A.; PRITCHARD P. **Introdução à mecânica dos fluidos**. Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A. 8 ed. Rio de Janeiro, 2014.

GREENE, E. **Marine Composites**. 2 ed. Annapolis, Maryland: Eric Greene Associates, 2009.

GUERRA, A. et al. **Recuperación y actualización de um espectrofotómetro automático para la medición de parâmetros químicos de la sangre**. Facultad de Ingenieria em Electricidad y Computación. Escuela Superior Politécnica del Litoral Campus Gustavo Galindo. Guayquil, Ecuador, 2010.

LACOVARA, B. **Get wise to gel coat cracks: characterizing crack defects, Convergent Composites**. American Composites Manufacturers Association, p. 1-8, 2010.

LETZOW, M et al. Modelagem computacional do processo de moldagem por transferência de resina (RTM) aplicado a hélices de propulsão naval. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM OFFSHORE E TECNOLOGIA NAVAL: CIÊNCIA E INOVAÇÃO. **Anais...** 22 a 24 de março de 2012. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande. RS, 2012.

MACHADO, P. et. al. **Controle de qualidade para revestimentos cerâmicos através da análise colorimétrica de superfície vidrada monocromática**. Centro de Tecnologia em Cerâmica. Criciúma, 1997.

MCMICHAEL, J. **Gel-coat application method and apparatus**. Colorado: Glass-Craft Inc., 2016.

PLASTIQUÍMICA. **Gelcoat**. Plásticos, Reforços, Aditivos e Pinturas. Santiago, Chile: [S. I.], 2016.

PLESSIS, H.D. **Fiberglass boats: Construction, gelcoat, stressing, blistering, repair and maintenance**. Londres: Bloomsbury Publishing, 2010.

NIELSEN, M.W. **Prediction of process induced shape distortions and residual stresses in large fiber reinforced composite laminates.** 2012. Dissertation (Ph.D.) - Department of Mechanical Engineering Technical. Dinamarca, 2012.

OLIVEIRA, A.; ANDRADE, P.; AMICO, S. Efeito da adição de aditivos desaerantes nas características de resina epóxi. In: 10º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, **Anais...** 10 p. Foz do Iguaçu, PR, 10/2009

ORRO, L. Estudo de materiais Compósitos 1. In: ALMACO, J. **Gelcoat.** Rio de Janeiro, [S. l.] 2004. p. 89-108.

SALTZ, W.T. **Bay area air quality management district.** Bay Area 2005 Ozone Strategy Control Measure. Regulation 8, Rule 50 : Polyester Resin Operations, 2009.

SILVA, E. A. **Modelagem e otimização do processo de texturização por falsa torção.** 2009. 143 pp. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, BA, 2009.

SUMMERSCALES, J et al. Mould gelcoating for resin transfer moulding. In: 10 th INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLOW PROCESSES IN COMPOSITE MATERIALS. **Proceding...** School of Marine Science and Engineering. University of Plymouth, England, 2010

SOUZA, A et al. **Solidworks 2000** - Guia Prático para Modelagem Sólida. Florianópolis: Visual Books, 2001. v. 1.

TSUZUKI, E.; TANIGUCHI, C.; CARVALHO FILHO, A. Gelcoat blistering and the use of glassflakes. In: INTERNATIONAL OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE. **Proceding...** p. 26-31. Kitakyushu, Japan, 2002.

WASHABAUGH, F. The effect of *gelcoat* extenders on the performance of polyester laminates. In: 45 th ANUAL CONFERENCE, Composites Institue. **Proceding...** The Society of the Plastics Industry, february 1990.

WEST SYSTEM® Epoxy. **A guide for repairing and preventing gelcoat blisters in fiberglass boats.** 9 ed. Michigan, [S. l.] 2007.

YUHAZRI, M. et al. A review on gelcoat used in laminated composite structure. **International jornal of research in engineering and technology**, v. 4, n. 3, p. 49-58, may 2015.

ZATTERA, A et al. **Caracterização de resíduos de copolímeros de etileno acetato de vinila – EVA.** 2005. 78 p. Artigo (Trabalho Técnico Científico). Departamento de Engenharia Química. Universidade de Caxias do Sul, 2005.