

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DE MATERIAL RESIDUAL DE  
COMPÓSITOS**

**SÉRGIO ANTONIO SANTOS EDERLI**

Trabalho de Graduação apresentado ao  
Departamento de Engenharia Química da  
Universidade Federal de São Carlos

Orientador: Prof. Thiago Faggion de Pádua

São Carlos – SP

**2024**

## **BANCA EXAMINADORA**

Trabalho de Graduação apresentado no dia 09 de setembro de 2024 perante a seguinte banca examinadora:

Orientador: Thiago Faggion de Pádua, DEQ/UFSCar

Convidado: Ricardo José Cassinelli

Professor da Disciplina: José Mansur Assaf, DEQ/UFSCar

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, que me garantiu a força necessária para concluir mais essa etapa da minha vida. Também gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Thiago Pádua, que me auxiliou na construção e na avaliação dos padrões deste trabalho e meu gestor, Ricardo Cassinelli, que me guiou na condução dos experimentos fabris neste presente. Por fim, e não menos importante, resalto a importância da minha família tanto nesse processo de graduação quanto no envolvimento neste trabalho.

## RESUMO

Atualmente, um dos maiores problemas associados ao setor de compósitos de fibra de vidro e resina poliéster é o descarte dos resíduos associados ao setor, sendo o material termofixo, uma vez polimerizado, é muito trabalhoso encontrar uma aplicação de valor agregado. Deste modo, é comum o descarte de resíduos desse tipo de indústria em aterros sanitários licenciados. O presente trabalho de graduação propõe estabelecer uma alternativa para o destino do resíduo da fábrica em que será executado. Assim, pretende-se estudar o reprocessamento e aplicação fabril do material residual mais relevante, classificado como rebarba do processo de injeção da fábrica ou rebarba do RTM. O material foi enviado a uma empresa terceira, moído a uma faixa de tamanho nominal médio de 0,33mm e peneirado numa malha de 75 mesh. Esse material está sendo utilizado como constituinte em formulações para tentar substituir o talco, pó mineral de rocha obtido em mineração, utilizado no “mingau”, que é um insumo da fabricação. O mingau é útil para conferir resistência mecânica aos produtos através da aplicação como revestimento interno, além de facilitar no processo de fabricação do produto, favorecendo a conformação nas proximidades de cantos. 6 amostras foram inicialmente preparadas e 2 se sobressaíram em termos de desempenho de viscosidade aparente, contendo 50% e 60% de índice de substituição de talco em massa. Após essas duas amostras serem selecionadas para testes na linha de produção, a amostra contendo 50% de substituição de talco por pó de rebarba apresentou maior aplicabilidade. A aplicação é realizada com pincel, e então um ajuste final foi realizado na proporção de *roving* para garantir a aplicabilidade e adesão satisfatórias, totalizando 8 formulações. Para garantir que o peróxido residual não iria interferir na perda de material devido a catálise, as 6 amostras iniciais foram observadas por um período de 7 dias. Ao final dos testes práticos, uma análise financeira foi realizada prevendo a aquisição dos equipamentos utilizados para moagem e foi obtida uma estimativa de 4 anos a 5 anos para retorno do investimento. Os métodos utilizados para a análise foram VPL, TIR, Payback Simples e Payback Descontado.

## ABSTRACT

Nowadays, one of the biggest issues that the glass fiber reinforced Polymer industry faces is the residual waste related to the sector itself, being a thermoset material, once polymerized, it is really troublesome to find a high value destination for this type of material. That being the case, it is common for the primary disposal method to be landfills. This paper proposes to analyze and set an alternative to the waste obtained at the factory that supported this analysis. On that matter, the intention is to study the reprocessing and industrial application of the most present type of waste in the factory, labeled as the remains from the injection process used by the factory, or RTM burr. The waste material for analysis was sent to a third party company specialized in grinding and milling in order to be processed to a nominal size of 0,33 mm and selected with a sieve of mesh 75. This material was used as a substitute for talcum, a mineral powder obtained from mining sites, used in the composition for polyester putty, simply called “mingau” inside the factory. “Mingau” is a useful input that adds mechanical resistance to composite products through application as internal coating as well as facilitating the production process, by being applied to corners, making them round and easier to handle. Initially, 6 samples were formulated by sequentially substituting talcum by powdered RTM burr, in which the 50 and 60 percent substitution rate were the most satisfactory ones in terms of viscosity. Both were chosen to be submitted to tests at the factory production line, where the 50 % powder substituted was the one with better results in terms of application using brush, the standard tool for this task. The latest formula was then slightly corrected to fit the factory standards by reducing roving usage in the composition. To ensure that the residual peroxide would not influence the usage of the compound, the initial samples were observed during a 7 day period to ensure the formula would not react in a smaller period than the factory could use the material. After practical tests, a financial analysis was done to verify the possibility of the milling equipment acquisition and a estimate of 4 to 5 years was obtained in order to regain the initial investment. NPV, IRT, Simple Payback and Discounted Payback were the methods used for this analysis.

## Sumário

<b>1- Introdução e Objetivos.....</b>	<b>1</b>
1.1- Introdução.....	1
1.2- Objetivos gerais.....	2
1.3- Objetivos Específicos.....	2
<b>2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>2</b>
2.1- Aspectos gerais da indústria de compósitos.....	2
2.2- Processos de Laminação manual, Spray - up e RTM.....	5
2.3- Matérias primas.....	9
2.3.1- Resinas Poliéster Insaturadas.....	10
2.3.2- Gel coat.....	12
2.3.3- Cargas minerais.....	13
2.3.4- Iniciadores e aceleradores.....	14
2.3.5- Fibra de Vidro.....	15
2.3.6- Mingau ou massa para canto.....	16
<b>3- MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1- MATERIAIS.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2- Equipamentos.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3- Procedimento Experimental.....</b>	<b>19</b>
3.4- Cálculo Financeiro.....	23
<b>4- RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>26</b>
4.1- RESULTADOS.....	26
4.2- DISCUSSÕES.....	33
<b>5- CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES.....</b>	<b>35</b>
5.1- Considerações finais.....	35
5.2- Sugestões para trabalhos futuros.....	35
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>36</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 - Exemplo de equipamento próprio para processo de spray - up.....	7
Figura 2 - Exemplo da aplicação de gel coat em molde aberto.....	7
Figura 3 - Impelidor com haste para agitação e mistura.....	19
Figura 4 - Amostras 1 e 2 após o período de observação de 12 dias.....	21
Figura 5 - Aparência das amostras 3 e 4 após o período de observação de 12 dias	22

Figura 6 - Aparência das amostras 5 e 6 após período de observação de 12 dias...	22
Figura 7 - Molde de peça contendo gel coat e mingau proveniente da formulação da amostra 3.....	30

## **Lista de Tabelas e Quadros**

Tabela 1 - Consumo de materiais do setor de compósitos de 2017 em kton por tipo de material.....	3
Tabela 2 - Distribuição da aplicação do setor de poliéster no Brasil no ano de 2017 em porcentagem mássica.....	4
Tabela 3 - Distribuição do uso de material do setor de poliéster por processo produtivo em porcentagem mássica.....	4
Tabela 4 - Proporção em porcentagem mássica (% m/m) dos componentes utilizados para a formulação das amostras de mingau.....	19
Tabela 5 - Amostras e seus respectivos índices de substituição de talco por pó de rebarba em porcentagem.....	20
Tabela 6 - Resultados para avaliação aparente de viscosidade para cada amostra.....	27
Tabela 7 - Proporção das amostras e custos associados ao material.....	28
Tabela 8 - Amostras formuladas e suas respectivas vidas úteis.....	29
Tabela 9 - Amostras formuladas e testadas em linha de produção.....	30
Tabela 10 - Parâmetros de entrada e saída resumidos em fluxos de caixa simples e ponderados pela inflação em reais.....	32
Tabela 11 - Parâmetros financeiros obtidos.....	33
Tabela 12 - Valores de TIR e VPL para o cenário descrito.....	33

# 1- Introdução e Objetivos

## 1.1- Introdução

Na indústria de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro, desde seu surgimento assim como atualmente, um dos principais problemas enfrentados devido ao material ser termofixo é a reciclagem ou reutilização do material residual após o processo reativo, frequentemente chamado de rebarba. No Brasil, no ano de 2012, há uma estimativa de geração de 13 mil toneladas de resíduo desse tipo no ano (ORTH, 2012). Esse número inclui as aparas e peças defeituosas que são moídas e descartadas.

Uma vez que o material não pode ser readequado de maneira térmica como um plástico convencional, encontrar maneiras práticas de reaplicá-lo é relativamente complicado considerando que o material é quimicamente estável. Tendo em vista a natureza do material, é comum as empresas do ramo dimensionar seus produtos com excesso de material, sejam peças automotivas ou partes decorativas de domicílios, uma vez que isso possibilita que o resultado do processo reativo seja posteriormente conformado de acordo com as necessidades de mercado, através de rebarba, lixamento e pintura ou outros processos envolvidos.

Esse problema se apresenta cada vez mais presente tendo em vista que mais e mais aplicações são encontradas para esse tipo de material devido a sua versatilidade. Tendo isso em evidência, a indústria de compósitos tem se aliado à academia para encontrar possíveis soluções. Uma das soluções que se destacam é o uso na construção civil através da mistura do material residual moído no concreto (CORREIA et al., 2011).

Outra aplicação é em massa asfáltica (LIN et al., 2022), como preenchimento na tentativa de alterar propriedades interessantes do composto. Outras alternativas incluem uso de material moído em tijolos do tipo *paver* (T. ITOH., 2002), ou em chapas de madeira (CONROY et al., 2006) e outras aplicações. O que se pode dizer sobre esse tipo de resíduo derivado da indústria de PRFV é que, em geral, a tendência é aplicar esse tipo de material em outros setores da indústria de compósitos (LIN et al., 2022).

Apesar dessas alternativas, o reprocessamento de materiais termofixos ainda passa por muito desenvolvimento, e parte significativa desse material é descartada em aterros licenciados ou enviada incineração (WEI e HADIGHEH., 2022). Sendo essa a realidade atual da indústria de compósitos, é imprescindível que novas alternativas sejam abordadas

academicamente a fim de encontrar uma solução não apenas tecnicamente viável, mas também financeiramente interessante.

## **1.2- Objetivos gerais**

O presente trabalho teve por meta estudar a viabilidade técnico econômica de utilizar o resíduo de rebarba do processo de RTM da fábrica. A especificação foi dada pelo fornecedor externo que fez a moagem do material, utilizando - se dos parâmetros interessantes para o contexto fabril para mingau.

## **1.3- Objetivos Específicos**

Para atingir a meta mencionada no tópico anterior, os seguintes objetivos específicos foram cumpridos:

- Formulação de amostras que se utilizam da maior proporção de resíduo possível para maximizar o uso de material;
- Avaliação do período que as amostras permanecem próprias para uso fabril de acordo com os padrões de consumo fornecidos pela empresa;
- Verificar se a(s) amostra(s) com melhor desempenho de viscosidade aparente atendem os parâmetros fabris mais importantes, como aderência no pincel e conformação no molde da peça;
- Utilizar o software disponibilizado pela empresa, *Microsoft Excel*, para fazer a avaliação preliminar financeira do processo de cominuição do material caso implementado nas instalações da fábrica;

## **2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1- Aspectos gerais da indústria de compósitos**

A aplicação de materiais compósitos se torna uma realidade cada vez mais presente na atualidade, as propriedades dos materiais como leveza, dureza, flexibilidade e custo são extremamente atrativos para diversos nichos de mercado. Seja na área de construção civil, energia renovável, transporte e até aeroespacial, a aplicação de compósitos é vasta e a composição dos materiais envolvidos depende estritamente da aplicação, onde os

parâmetros de resistência e custo são os fatores mais importantes para determinação de quais materiais devem ser utilizados.

Existem diversos tipos de materiais compósitos, contudo, o enfoque deste trabalho se encontra nos compósitos de origem e cunho termofixo, ou seja, os materiais que não se tornam mais dúcteis com o aumento de temperatura. No ano de 2017, o volume total de consumo de materiais para a indústria de transformação de compósitos se aproximou das 200 mil toneladas no Brasil, incluindo materiais como resina poliéster, fibra de vidro, fibra de carbono, resina epóxi e outros (ALMACO, 2018).

A Tabela 1 evidencia como esse volume de consumo de materiais se distribui ao longo dos tipos mais comuns utilizados nesse ramo com base nos dados da ALMACO de 2018:

**Tabela 1 - Consumo de materiais do setor de compósitos de 2017 em kton por tipo de material**

<b>Material</b>	<b>Massa (kton)</b>
Resina Poliéster Insaturado	102,4
Fibra de Vidro	56,3
Resina Epóxi	18,9
Gel Coat	9,8
Resina Éster-Vinílica	2,5
Adesivos Estruturais	1,7
Fibra de Carbono	1,3
Outras*	3

Fonte: ALMACO, 2018

Proporcionalmente, fica evidente que o mercado de fibra de vidro e de resina poliéster somam a maior parte dessa indústria, não apenas pelas propriedades mecânicas atenderem uma gama maior de aplicações, mas também devido ao custo associado, onde resinas epóxi são, em geral, mais caras do que resinas poliéster e éster - vinílicas (NEGOITA et al., 2016). Tendo as resinas poliéster aplicações vastas em setores que precisam de materiais com boa resistência e preço competitivo, as resinas epóxi acabam sendo utilizadas, em geral, em áreas com uma demanda de propriedades mecânicas e químicas mais específicas.

O uso das resinas poliéster é abordado na Tabela 2, com enfoque na produção brasileira no período de 2017, referente ao volume de consumo de 102,4 kton de uso de resina poliéster evidenciados na Tabela 1:

**Tabela 2 - Distribuição da aplicação do setor de poliéster no Brasil no ano de 2017 em porcentagem mássica**

Setor	Porcentagem
Construção Civil	37%
Transporte	27%
Corrosão e Saneamento	18%
Energia Elétrica	4%
Energia Eólica	2%
Náutico	3%
Outros	9%

Fonte: ALMACO, 2018

As indústrias civil e de transportes representam as maiores fatias do mercado de compósitos em poliéster, onde os processos mais utilizados para industrialização dos materiais envolvidos são os representados na Tabela 3:

**Tabela 3 - Distribuição do uso de material do setor de poliéster por processo produtivo em porcentagem mássica**

Processo	Porcentagem
Spray UP e Hand Lay Up	54%
RTM	11%
Filament winding	10%
Laminação contínua	7%
Infusão	4%
Pultrusão	7%
BMC/SMC	3%
Outros	4%

Fonte: ALMACO, 2018

A laminação manual e o processo de spray - up, que serão mais detalhados em itens ainda neste tópico, são os mais utilizados nessa indústria, ocupando um total de 54% do

volume produtivo desse setor. (ALMACO, 2018). O processo de RTM segue em segundo no ranking.

A indústria de compósitos se apresenta como uma constante de relevância econômica no país, e como sua situação depende de setores extremamente significativos como construção e transporte, não há uma expectativa de que esse tipo de atividade se encerre. Muito pelo contrário, os setores de construção e de transportes podem sofrer um aumento de produtividade em relação ao ano de 2023 (ALMACO, 2023), refletindo diretamente na produtividade do setor de compósitos.

Seja de maneira crescente, ou constante, o setor de compósitos com destaque em materiais termofixos apresenta um problema, a geração de resíduos. Em uma fábrica de compósitos a base de fibra de vidro, o material residual proveniente da cura dos materiais pode chegar a quase metade dos resíduos fabris (CARVALHO; SANTANA, 2018). Esses resíduos são geralmente descartados em aterros sanitários entrando no grupo de Classe C, que ainda não foram encontradas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam o redirecionamento desses materiais (CONAMA, 2002).

## **2.2- Processos de Laminação manual, Spray - up e RTM**

Apesar de estarem separados em três tipologias no título deste tópico, é possível agrupar os processos produtivos de compósitos a base de fibra de vidro e resina poliéster em dois grupos, o de molde aberto e o de molde fechado. Dos três processos citados, 2 são em molde aberto e 1 em molde fechado. O processo de laminação manual, como o nome sugere, é feito diretamente por colaboradores. O processo se dá, geralmente, conforme é descrito na lista à seguir:

- O molde com as medidas e formato da peça é preparado, em geral com algum desmoldante a base de óleo mineral e vegetal;
- Uma camada de *Gel Coat*, um material a base de resina poliéster e cargas minerais é aplicado sobre o molde, com o intuito de ser a camada externa da peça exposta ao ambiente e sob a qual será submetida a tratamentos posteriores como lixamento e pintura.

- Após a cura parcial ou total do gel, as peças com maior índice de ângulos perpendiculares recebem uma camada de massa para canto, também conhecido como “mingau”, uma mistura de resina poliéster, carga mineral e fibra de vidro picada, nessas regiões com ângulos mais agudos, com o intuito de facilitar a etapa posterior.
- Após a aplicação de mingau, uma camada de manta de fibra de vidro é colocada sobre o molde, conformando manualmente de acordo com os formatos da peça ou objeto a ser produzido.
- Após a conformação da manta nos cantos e na superfície do molde e utilizando um pincel, resina poliéster misturada com iniciador de reação é embebida na manta de fibra de vidro manualmente até estar completamente úmida ou até atender alguma especificação de relação em massa entre manta de fibra de vidro e resina, a título de exemplo, se a especificação determina 25% em massa de fibra e 75% de resina, para 250 g de manta devem ser utilizados 750 g de resina que devem ser pesados previamente à produção da peça.
- O processo de adição de manta e resina é repetido em camadas até que se atinja a espessura ou especificação desejada, onde as camadas subsequentes de manta e resina são adicionadas imediatamente, ou seja, sem ser necessário a espera da iniciação do processo reativo da camada anterior.
- As rebarbas são retiradas e a peça é removida do molde, sendo destinada à lixamento e pintura ou outros tratamentos de superfície que dependem da finalidade da peça.

O processo descrito pode sofrer alterações de acordo com especificações determinadas das peças ou objetos a serem laminados, algum reforço ou algum local com adesivagem, essas especificações são definidas, geralmente, quando o projeto do objeto é realizado.

O processo de *Spray - Up* é análogo ao processo de Laminação Manual, contudo, ao invés de conformar uma manta de fibra de vidro, um fio de fibra de vidro, *roving*, é retalhado em tempo real juntamente com a aplicação de um spray de resina, segundo a Figura 1:

**Figura 1 - Exemplo de equipamento próprio para processo de *spray - up***



Fonte: LUMA PLÁSTICOS, 2023

Como é possível observar, uma seção do equipamento retalha o fio de roving e os jatos de resina e fio picado se cruzam, fazendo com que a fibra de vidro já seja umedecida por resina ao se adequar na camada de *gel coat*. Os processos de aplicação de *gel coat* e mingau são análogos ao processo de laminação anteriormente descrito e contam com os mesmos procedimentos que os de laminação. A Figura 2 evidencia uma típica aplicação de *gel coat*:

**Figura 2 - Exemplo da aplicação de *gel coat* em molde aberto**



Fonte: SERCEL, 2017

O processo mostrado na Figura 2 é o de aplicação de *gel coat*, ele é análogo para todos os três processos mencionados neste tópico. A aplicação de gel tem suas particularidades assim como seus equipamentos e condições ideais, como espessura e camada de gel, especificações dos materiais envolvidos como viscosidade do gel e diversas outras propriedades que não entram no escopo deste trabalho.

O molde, mostrado no canto inferior esquerdo da Figura 2, pode ser feito de diversos materiais como aço, alumínio e até mesmo fibra de vidro com resinas e *gel coat* com características específicas para suportar os processos de cura das peças. A escolha dos materiais do molde depende de fatores financeiros. Em geral, os moldes metálicos são mais caros e apresentam maior demanda de infraestrutura fabril por serem mais pesados e precisarem de mecanismos mais robustos de movimentação.

Os moldes metálicos não são mais caros apenas pelo material que são feitos mas também por ser possível acoplar mecanismos de aquecimento, coisa que não é possível nos moldes convencionais de fibra. Ainda assim, devido à diferença de preço e problemáticas de movimentação, os moldes de fibra são mais comuns.

Por fim, tem - se o processo de RTM, ou *resin transfer moulding*, que é um processo por injeção. A resina é injetada em um molde fechado com um contra molde que forma um sistema que é selado a vácuo posteriormente aberto após desligamento do sistema de vácuo. O processo está descrito de maneira mais detalhada a seguir:

- O molde é preparado com *gel coat*, de maneira análoga aos processos de laminação manual e *spray up*;
- Após a cura parcial ou total do *gel coat*, a manta de fibra de vidro é colocada diretamente sobre essa camada de *gel*, geralmente, sendo fixada nos cantos com cola spray ou uma fita crepe ou qualquer material que não tenha interação prejudicial com a resina;
- Com a manta posicionada e fixada, um contramolde é posicionado sobre o molde e selado utilizando vácuo;
- A resina é injetada no sistema fechado, umedecendo a manta ao longo do molde;
- O tempo de cura é atingido e então o sistema é aberto com a remoção do vácuo (desligamento da bomba de vácuo) e então o contramolde é removido utilizando - se algum maquinário, uma garra ou guindaste;
- A peça é retirada do molde e tem suas rebarbas removidas, em oposição ao processo de laminação onde essa remoção de rebarbas pode ser feita anteriormente a retirada da peça do molde uma vez que os moldes para RTM ficam fechados e são otimizados para que o selamento do sistema de vácuo seja mais eficiente, não propiciando a possibilidade da remoção de rebarbas enquanto a peça estiver no molde.

Sobre cada um dos três processos evidenciados tem suas particularidades, é importante ressaltar que cada resina só é aplicada no sistema após a mistura devida com um peróxido adequado. Esses peróxidos são geralmente a base de metil etil cetona e são comercialmente conhecidos como peróxidos MEKP. A variedade de resinas utilizadas no mercado de compósitos é gigantesca já que os processos de fabricação de compósitos são diversos, em geral, cada resina é otimizada e formulada para se adequar às necessidades do processo de fabricação em questão.

Uma particularidade dos processos de produção de compósitos é que é comum a adição de cargas minerais em resinas para obter alguma propriedade desejada, o tópico a seguir será voltado para comentar as questões relacionadas às matérias primas.

Independente do tipo de processo que se utiliza para produção do compósito, a remoção de rebarba e de aparas com finalidade de alcançar medidas necessárias para encaixe no conjunto que a peça pertence é uma realidade. Dificilmente uma peça a base de materiais termofixos será produzida em medidas exatas, uma vez que isso demanda uma qualidade de controle sobre os parâmetros do produto que pode encarecer muito o material final. Isso torna o reaproveitamento desse tipo de material relevante em qualquer um dos processos descritos.

Em outras palavras, não apenas o molde iria precisar estar em medidas perfeitamente exatas, seria necessário o desenvolvimento de um dispositivo que permitisse a remoção da peça sem nenhuma aba auxiliar, uma vez que a presença de rebarbas auxilia no manuseio da peça no momento de remoção do molde. De maneira geral, os processos de fabricação de compósitos a base de fibra de vidro são inúmeros e possuem diversas particularidades atreladas especialmente a infraestrutura necessária para tornar esses processos possíveis, adentrar em cada uma dessas particularidades demandaria um trabalho voltado apenas para essa análise e foge do escopo aqui realizado.

### **2.3- Matérias primas**

Como já mencionado no item anterior, os principais materiais envolvidos nos processos de laminação, *spray up* e RTM são resina poliéster, *gel coat*, peróxido orgânico iniciador de reação e fibra de vidro em diferentes arranjos e formatos. Porém, para constituir esse trabalho e também durante o próprio processo de produção de compósitos, a

carga mineral também é um componente indispensável nessas atividades. Os itens a seguir detalham mais esses componentes.

### **2.3.1- Resinas Poliéster Insaturadas**

No mercado de compósitos a base de poliéster, as resinas são o componente base e geralmente têm origem em fontes fósseis. As resinas se constituem em diversas formas, porém, as mais conhecidas são as ortoftálicas, isoftálicas, DCPD e bisfenólicas. Cada um dos tipos mencionados faz relação com a estrutura ou do reagente de origem ou à estrutura do monômero em si.

As resinas poliéster possuem propriedades que são inerentes aos seus processos de reação e às suas propriedades pós cura, essas propriedades são alteradas de acordo com os aditivos presentes em sua formulação (OTHMER, 2004). Uma lista simplificada com esses parâmetros é evidenciada a seguir.

- **Contração:** os materiais de resina poliéster insaturada tendem a ter um índice de contração, devido a formação das ligações entre a cadeia de poliéster e os monômeros de estireno presentes na composição da resina.
- **Resistência a UV:** para solidificar as resinas então líquidas é necessário energia para iniciar seu processo de reação. Para evitar que esse processo ocorra devido a luz UV que emana do sol, algumas resinas recebem aditivos que aumentam sua resistência a esse tipo de intempérie (OTHMER, 2004). A luz UV também pode provocar alteração no material já curado, o que geralmente se traduz como alteração de cor, aspecto superficial e até mesmo flexibilidade (SMOLEN et al., 2024).
- **Resistência térmica:** em geral, materiais termofixos apresentam características de resistência à temperatura, por serem termofixos, não tornam - se moldáveis com aumento de temperatura como já mencionado em tópicos anteriores. Ainda assim, uma temperatura alta constante pode causar alterações mecânicas ao longo do tempo nas estruturas feitas com resinas poliéster. Para resolver essa questão, também há alterações na formulação das resinas no intuito de atender essa necessidade de resistência térmica.

De maneira geral há uma gama de resinas poliéster, sendo que cada resina é formulada de acordo com algum tipo de necessidade específica. Por exemplo, resinas compostas para resistir a ambientes com alta alcalinidade (OTHMER, 2004) como as bisfenólicas, resinas formuladas para ter agentes retardantes a chama, como as halogenadas.

Em geral, as propriedades das resinas ortoftálicas são medianas em comparação com as outras resinas, caracterizando -as como as mais baratas e mais comuns. Por isso, essas resinas são aplicadas de maneira mais abrangente em setores com demandas menos rigorosas no sentido de propriedades. Por exemplo, uma peça com necessidade de carga mediana, que não ficará exposta ao sol e que não terá exposição a produtos químicos reativos como ácidos ou bases fortes pode, a priori, ser fabricada com resina do tipo ortoftálica, lembrando que esse é um cenário simplificado para ilustrar o uso da resina.

As resinas DCPD tem como um de seus reagentes base o dicitclopentadieno. O uso desse tipo de reagente causa uma redução na contração média dessas resinas ao passarem pelo processo de cura, além disso, também reduz a viscosidade das resinas em relação às convencionais, possibilitando o aumento do uso de cargas minerais na composição final das resinas, assunto que será abordado no tópico de cargas minerais (OTHMER, 2004).

Já as resinas bisfenólicas, formuladas com derivados de bisfenol A, também comercialmente conhecido como BPA, geralmente apresentam alternativas para as resinas ortoftálicas quando há necessidade de maior resistência à corrosão e à temperatura. Por fim, as resinas isoftálicas garantem maior resistência mecânica e térmica, produzidas utilizando anidrido ftálico ou ácido isoftálico.

Independente do tipo de resina, o poliéster não é comercializado em seu estado puro, misturadas em uma solução constituída de solvente à base de estireno e com aditivos de estabilizantes, as resinas poliéster são manufaturadas para atenderem não apenas parâmetros de resistências mecânica, química ou física, mas também para atender as necessidades de processamento dos compradores.

Em termos de atender uma demanda, os compradores da resina necessitam que o material esteja propriamente sólido, em termos fabris, curado, no tempo de produção que for necessário. Em geral, as resinas poliéster insaturadas tendem a ter um tempo de cura que varia de 1 a 60 minutos, mas isso pode variar de acordo com a necessidade do comprador e com a formulação da resina (OTHMER, 2004). A cura das resinas poliéster é

normalmente avaliada de acordo com dois parâmetros: o tempo de gel ou *gel time* e o intervalo de pico.

O tempo de gel é um parâmetro que define até que ponto uma resina poliéster pode ser utilizada, sendo que, após esse tempo ser atingido, a resina dificilmente consegue ser processada ou conformada da maneira que o cliente precisa, já que o processo reativo já atingiu um ponto onde a resina não apresenta mais aspecto líquido. Quando atinge o tempo de gel, a resina apresenta um aspecto gelatinoso, evidência do começo da formação das ligações que irão garantir a rigidez da mesma após o processo total de cura.

O outro parâmetro avaliado é o intervalo de pico, que acontece após o tempo de gel. O intervalo de pico é um parâmetro que avalia a finalização da cura da resina, caracterizado por ser um processo exotérmico onde a resina atinge a rigidez necessária para os processamentos futuros do objeto produzido.

Para garantir que ambos os parâmetros que definem o tempo de cura sejam atingidos, as resinas têm seus tempos de gel e intervalo ajustados se utilizando de retardantes químicos. Os aditivos retardantes ou estabilizantes geralmente são à base de quinonas, caracterizadas por duas carbonilas unidas por um anel de seis carbonos em posições do tipo orto ou para (SOUSA et al., 2016).

A ação desses estabilizantes ou inibidores se dá através da reação com os promotores de polimerização, os iniciadores do processo reativo, comercialmente conhecidos como catalisadores apesar de não necessariamente serem catalisadores, por definição, uma vez que eles ativamente participam das reações e dificilmente são recuperados. Esses iniciadores serão abordados nos itens futuros ainda deste tópico de Revisão Bibliográfica.

De maneira simplificada a resina como um todo não é apenas o poliéster insaturado, uma vez que apenas este não se adequa às necessidades do mercado, mas a mistura como um todo: o poliéster, o monômero de estireno, os estabilizantes e, ocasionalmente, os aditivos de carga mineral constituem a resina.

### **2.3.2- *Gel coat***

O *Gel Coat* é um material utilizado na parte da peça ou objeto compósito que estará diretamente exposto ao ambiente que se deseja proteger a parte composta por fibra de

vidro. As duas principais funções desse material se resumem a proteger a camada de resina e fibra de vidro de ataques externos e dar acabamento estético ao objeto. A composição base do *Gel Coat* é dada por uma mistura de uma ou mais resinas poliéster e agentes tixotrópicos ou espessantes. Um agente espessante comum na indústria de compósitos é o Aerosil, ou sílica pirogênica, frequentemente usado nas composições de *gel coat*.

Os tipos de *gel coat* são análogos aos tipos de resina, onde suas derivações vêm justamente do tipo de resina base ou do reagente base para sua composição. Géis do tipo, ortoftálico e isoftálico são os mais comuns no mercado, mas há outros tipos de *gel* que são manufacturados a depender do tipo de aplicação dos mesmos. Não se deve confundir *gel coat* com *top coat*, onde este último é aplicado após o processo de fabricação do objeto compósito.

### **2.3.3- Cargas minerais**

*Gel coat* é um tipo de material que tem diferentes tipos de carga mineral em sua composição. Porém, frequentemente, resinas também recebem carga mineral em quantidades variadas com a finalidade de adicionar alguma propriedade no material final ou para alterar propriedades intermediárias que facilitem o processamento da resina, como elevação de viscosidade e parâmetros tixotrópicos para resinas que precisam ser aplicadas em superfícies inclinadas e não podem escorrer, a título de exemplo.

Há uma vasta gama de cargas minerais que englobam os mais diversos tipos de derivados de mineração. Alguns desses materiais garantem propriedades bem específicas na mistura com resinas. Um exemplo é a calcita, ou carbonato de cálcio, que garante um aspecto mais semelhante a um acabamento interno ao objeto compósito e também reduz a contração da resina durante a cura, além de reduzir o custo total do material compósito, uma vez que reduz o uso de resina na formulação total do objeto, sendo as resinas geralmente mais caras do que calcita (NICOLAI E BORZACHIELLO, 2012).

Outro exemplo é a alumina, ou o hidróxido de alumínio hidratado, que garante uma propriedade de retardar chama à resina, liberando a água do complexo salino quando em contato com o calor do fogo (NICOLAI E BORZACHIELLO, 2012).

Além dos dois exemplos citados anteriormente, também é possível citar o talco industrial, um tipo de carga mineral muito comum na indústria de compósitos e um dos materiais utilizados neste trabalho. Talco é uma carga mineral muito aplicável na indústria de termofixos e termoplásticos, agindo como um aditivo que reduz custo de produção economizando o uso de resina na composição total do material, além de melhorar características como resistência ao calor, isolamento elétrico e resistência à umidade do material compósito (YEASMIN et al., 2022).

### **2.3.4- Iniciadores e aceleradores**

Para que a resina de fato solidifique e forme sua matriz polimérica, um iniciador de reação é utilizado. Estes são adicionados e homogeneizados com a resina antes desta ser aplicada na fibra de vidro através dos mais diversos meios além dos citados anteriormente no tópico 2.2. Por vezes, os iniciadores de reação são comercialmente nomeados de catalisadores mesmo não necessariamente se encaixando na classificação técnica de catalisador, ou seja, ser recuperado após o processo reativo, uma vez que após o uso os iniciadores não são mais recuperados.

Os iniciadores de reação são geralmente peróxidos orgânicos. Agem através da dissociação por calor em radicais livres que iniciam o processo de cura da resina (OTHMER, 2004). Alguns dos iniciadores mais comuns para a indústria de compósitos em poliéster são os baseados em peróxido de benzoíla (BPO) e os baseados em metil etil cetona (MEKP).

Os radicais formados inicialmente no processo reativo são neutralizados pelos inibidores citados no tópico 2.3.1, fazendo com que a cura seja controlada até o tempo de gel mencionado no mesmo tópico retardando a ação do peróxido até que o inibidor seja de fato consumido.

É importante mencionar que reações como a cura do *gel coat* ou a cura da resina são processos que dependem da temperatura ambiente. Quanto mais baixa a temperatura estiver, mais demorado será esse processo, geralmente, temperaturas próximas de 10 °C afetam o processo de maneira severa podendo até dobrar o tempo de cura necessário a depender da resina. Para corrigir esse tipo de demora, é comum o uso de aceleradores, que não devem ser confundidos com os iniciadores de reação. Os aceleradores não causam

cura, a ação dos aceleradores é justamente fazer com que o tempo de cura da resina seja reduzido.

É comum o uso de aceleradores e inibidores de acordo com a necessidade de cura do processo em que a resina será utilizada. Em geral, o tempo de cura citado no tópico de resinas atende a maior parte das realidades fabris.

### **2.3.5- Fibra de Vidro**

A matriz de fibra de vidro dos Polímeros Reforçados com Fibra de Vidro é basicamente vidro conformado em filamentos, com orientação definida a depender do tipo de material que se deseja fabricar. O vidro é formulado de acordo com as propriedades que se tem interesse no material, sendo essas desde o isolamento elétrico a resistência à alcalinidade. Essas propriedades denominam o tipo de vidro que está sendo produzido, no caso dos exemplos utilizados, vidro de isolamento elétrico é classificado como tipo E ou *E glass*, já o resistente à alcalinidade é denominado como AR, que significa *alkali resistant*.

As propriedades intrínsecas do vidro e de seu processo de produção fogem do escopo deste trabalho. Contudo, é importante retratar que, além da composição do vidro, a disposição ou formato do mesmo é um fator determinante para inferir quais serão as propriedades do material a ser confeccionado com a fibra. Como anteriormente mencionado, uma das formas de fibra de vidro utilizadas é o fio de *roving*. O fio de *roving* pode ser compreendido como microfilamentos de fibra de vidro unidos por um promotor de aderência que mantém esses microfilamentos unidos.

O fio de *roving* picado, material utilizado na preparação do mingau, é nada mais do que o fio de *roving* retalhado em pequenos grânulos, com faixa de comprimento especificada de acordo com a necessidade do material a ser produzido, um exemplo, é comum o uso de filamentos com 25 a 50 mm de comprimento para produção de SMC (NICOLAI E BORZACHIELLO, 2012), um outro tipo de processo envolvendo produção de objetos com fibra de vidro e resina poliéster.

Além da menção das formas de *roving*, dois tipos de fibra de vidro são mencionados neste trabalho, a manta de laminação e a manta de RTM. A manta de

laminação consiste em uma camada de fibra de vidro distribuída aleatoriamente em seu comprimento, onde essa manta permanece unida através de um promotor de aderência.

Tanto no *roving* quanto em outras formas de fibra como a de laminação, o promotor de aderência é solúvel na resina que se deseja utilizar para umectar a matriz de fibra. Uma vez que a manta esteja embebida de resina, esse promotor é dissolvido no meio. Esse promotor de aderência garante a integridade da manta de fibra de vidro até certo ponto, uma vez que essa integridade pode ser facilmente rompida utilizando - se as mãos para rasgar essa manta e conformar em um molde manualmente.

O mesmo não pode ser afirmado sobre a manta para RTM. Esse tipo de manta é constituída, geralmente, por duas camadas de fibra de vidro separadas por uma camada de um material de base polimérica, geralmente polipropileno. Essa camada intermediária é comumente denominada de núcleo e tem propósito de além de servir de substrato para fixação da fibra garantir espessura para as peças e objetos, também de aumentar a penetração da resina ao longo da manta.

A fixação da fibra de vidro assim como seu posicionamento pode ser realizado se utilizando de uma costura onde o material agregado com promotor é costurado ao núcleo em pontos específicos para garantir uma integridade maior da manta como um todo.

Vale ressaltar que as mantas aqui retratadas tem seus fios de fibra de vidro dispostos aleatoriamente ao longo de seu comprimento, mas isso não é uma realidade imutável para as mantas de fibra de vidro, que podem ter padrões de disposição orientados, entrelaçados, com costuras das mais diversas especificações. Adentrar nos aspectos que ditam essas especificações de costura foge do intuito trabalho uma vez que as costuras são feitas de acordo com a necessidade de cada cliente tendo em vista as peculiaridades do processo de injeção ou laminação dos mesmos, e a orientação da disposição do material realizada de acordo com o tipo de esforço que a peça ou objeto estará submetida.

### **2.3.6- Mingau ou massa para canto**

A massa para canto, conhecida como mingau na indústria de fomento deste trabalho, que optou por decisão da Supervisão e Gerência permanecer com identidade anônima, é um insumo voltado para o processo de produção de peças de fibra de vidro via laminação manual, como já comentado no item 2.2 deste trabalho. A massa para canto,

também conhecida como massa estrutural para canto, é utilizada principalmente para evitar erros de conformação de manta em ângulos retos ou agudos de molde. A massa também confere reforço mecânico adicional à peça, sendo essa uma função secundária do mingau.

Caso a manta de fibra de vidro não seja adequadamente conformada no molde com *gel coat*, é possível ocorrer formação de bolhas de ar que prejudicam as funções estruturais da peça e à tornam inviável em termos de uso, lembrando que por se tratar de um material termofixo, há um limite de ajustes que a mesma pode sofrer e a inviabilização da peça acarreta na necessidade de produzi-la novamente.

A composição do mingau varia de acordo com sua aplicação. A Morquímica, uma das empresas do setor de compósitos no Brasil, possui três tipos de massa estrutural de acordo com sua plataforma na web, com diferentes finalidades e composições. A função primordial do mingau é garantir a conformação de manta de fibra de vidro na camada de *gel coat*, mas sua aplicação e variação de composição garante outras propriedades interessantes ao setor como adesivagem adicional entre componentes de peças diferentes ou garantir uma superfície para realizar ancoragem com superfícies metálicas.

Como o enfoque deste trabalho visa o mingau para conformação de manta de fibra de vidro nos cantos com ângulo agudo ou reto de peças a base de compósitos, o enfoque nos aditivos que maximizam suas outras propriedades foge do realizado. É importante não confundir massa estrutural poliéster com massa plástica ou massa poliéster, sendo que essas possuem aplicações muito diferentes da massa estrutural para cantos.

Enquanto a massa estrutural para cantos é aplicada durante o processo de fabricação da peça com o intuito de facilitar a conformação de manta de fibra, evitando defeitos, a massa poliéster é aplicada após a confecção da peça, para corrigir pequenos defeitos como trincas ou defeitos de acabamento de superfície.

### **3- MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1- MATERIAIS**

Os materiais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho são citados na lista abaixo, com fornecedores mantidos em segredo por escolha da Supervisão e Gerência da indústria de fomento.

- Resina de laminação gel time 25: resina poliéster própria para processo de laminação manual, sendo utilizada principalmente para peças produzidas em menor escala.
- Talco Industrial: carga mineral utilizada para fabricação de mingau.
- Roving Picado na especificação de 4mm de comprimento.
- Pó de rebarba obtido na moagem do resíduo tipo rebarba do processo de RTM da fábrica, enviado à empresa externa especializada em moagem.
- Thinner de Limpeza: solvente próprio para limpeza de materiais orgânicos de difícil remoção.
- Peróxido MECK P ou MEKP: Peróxido à base de metil etil cetona como retratado no tópico de Matérias Primas, próprio para a cura da resina de laminação.

### **3.2- Equipamentos**

Os equipamentos utilizados para desenvolver os procedimentos foram, essencialmente, todos pertencentes à infraestrutura da fábrica na qual esse trabalho se sustentou. A seguir, uma lista com todos os equipamentos e acessórios utilizados.

- Balança analítica com precisão de 4 casas decimais.
- Furadeira de bancada utilizada como motor para agitação e mistura.
- Impelidor com haste para mistura, evidenciado na Figura 5.
- Bastão de vidro 10mm de diâmetro.
- Pote PP 500 mL.
- Tigela de 1 litro para preparação de massas viscosas.
- Pincel 2 polegadas e meia.
- Copo PP 500 mL.
- Espátula metálica para laboratório.
- Bequer PP 250 mL.

**Figura 3 - impelidor com haste para agitação e mistura**



Fonte: Próprio Autor (2024)

### **3.3- Procedimento Experimental**

Primeiramente, para entender como o material iria se adequar ao mingau, um teste qualitativo de viscosidade foi realizado, como descrito a seguir,

Em 6 potes de polipropileno 500 mL, foram elaboradas amostras com diferentes proporções de pó de rebarba. A Tabela 4 mostra as proporções utilizadas em porcentagem mássica:

**Tabela 4 - Proporção em porcentagem mássica (% m/m) dos componentes utilizados para a formulação das amostras de mingau**

Amostra	Pó de rebarba	Resina Laminação 25	Carga Mineral	Roving
1	0	43	53	4
2	27,5	43	27,5	4
3	31,8	43	21,2	4
4	37,1	43	15,9	4
5	42,4	43	10,6	4
6	43,7	51,5	0	4,8

Fonte: Próprio Autor, 2024

Cada uma das amostras acima foi baseada tomando em conta o índice de substituição de talco por pó de rebarba, a Tabela 5 relaciona a amostra com seu índice de substituição, maneira a qual essas amostras serão referenciadas neste trabalho.

**Tabela 5 - Amostras e seus respectivos índices de substituição de talco por pó de rebarba em porcentagem**

Amostra	Índice de substituição de talco
1	0 %
2	50 %
3	60 %
4	70 %
5	80 %
6	100 %

Fonte: Próprio Autor, 2024

O índice de substituição mostrado na Tabela 5 é a origem dos valores na Tabela 4, esses valores de substituição de porcentagem em massa levam em conta a quantidade de talco na amostra. Para exemplificar, 50% de índice de substituição em massa significa que da quantidade de talco que é necessária para produzir uma amostra de mingau, 50% em massa de talco convencional foi adicionada e os outros 50% de carga mineral necessária para a receita completa foram substituídos pelo pó de rebarba. Isso é válido para todas as amostras exceto a de 100% de substituição, onde a proporção mostrada na Tabela 4 é resultado de atingir qualitativamente o aspecto e a viscosidade que serão retratados no tópico de Resultados além de indicar que 100% do talco necessário para a receita de mingau foi substituído por pó de rebarba. Ou seja, a amostra 6 foi sendo produzida lentamente adicionando pó de rebarba até que atingisse um aspecto limite do que é aceitável para a fábrica em termos de viscosidade. Caso mais pó de rebarba fosse adicionado, ela não seria aplicável nem nos testes posteriores em linha de produção, como será retratado futuramente ainda neste tópico.

Para produzir as amostras, juntou - se resina e *roving* picado nos potes de polipropileno 500 mL. Essa mistura era homogeneizada na furadeira de bancada até que o *roving* picado estivesse disperso na resina. O talco, quando presente, era adicionado aos poucos enquanto a amostra era misturada. Por fim, o material de pó de rebarba era adicionado da mesma forma que o talco para finalizar a formulação.

Como a maior preocupação do estudo foi verificar se o peróxido residual resultante do processo de cura da peça que gerou a rebarba iria tornar o material inutilizável com um curto período de tempo, as seis amostras tratadas anteriormente foram observadas por um

período de aproximadamente 12 dias. É importante ressaltar que esse período é aproximado pois as amostras eram observadas até que se tornassem inviáveis para uso devido a reação de polimerização resultante do peróxido residual contido na rebarba. Uma vez inviáveis, as amostras eram reservadas e ocasionalmente observadas apenas para verificar se havia alguma alteração de aspecto.

A observação das amostras também não era feita diariamente. Ocasionalmente, eram expostas às condições de bancada na tentativa de simular as condições da linha de produção, onde o material fica exposto ao ar e à temperatura. Como a reação de polimerização do material apresenta indícios qualitativos e visuais como alteração de cor, brilho e viscosidade, o parâmetro para verificar se a amostra de mingau preparada estava viável ou não era visual. Sendo a base de resina poliéster, os parâmetros de cura do mingau são os mesmos utilizados para avaliar resinas, ou seja, tempo de gel e intervalo. Além disso, inevitavelmente devido ao estireno presente na resina, ao atingir o *gel time*, o aroma da amostra também se altera.

Para a avaliação de viscosidade, um bastão de vidro era utilizado para auxiliar nessa avaliação uma vez que, atingido o tempo de gel, a amostra se apresentava muito mais encorpada e muito mais viscosa. As figuras 4, 5 e 6 ilustram, respectivamente, as amostras em seus respectivos recipientes e as aparências de cada amostra após o período de análise de 12 dias.

**Figura 4 - Amostras 1 e 2 após o período de observação de 12 dias**



Fonte: Próprio Autor (2023)

**Figura 5 - Aparência das amostras 3 e 4 após o período de observação de 12 dias**



Fonte: Próprio autor (2023)

**Figura 6 - Aparência das amostras 5 e 6 após período de observação de 12 dias**



Fonte: Próprio autor (2023)

Após o período de observação dessas amostras, as que obtiveram o melhor desempenho em viscosidade e tempo sem se tornar inválidas para uso foram selecionadas para teste em linha. As amostras foram reproduzidas, desta vez em tigela própria para mistura de mingau com peróxido próprio para resina de laminação que também é utilizado para cura do mingau. Ao todo, mais 3 amostras foram reproduzidas totalizando mais 3 kg de mingau contendo pó de rebarba.

Essas amostras foram testadas em linha de produção, com o intuito de verificar qual estava mais adequada para aplicação. O operador do setor responsável pelo uso de mingau aplicou o material e verificou se estava conforme as necessidades do setor para uso na fabricação do produto. É importante ressaltar que nessa etapa a opinião do operador sobre a conformação e aplicação do mingau era o que definiria se o material estava adequado ou não, portanto, classificando essa análise como qualitativa. Ou seja, a facilidade de aplicação da amostra foi o critério utilizado.

O teste de aplicação foi encerrado quando o mingau contendo pó de rebarba era aplicado e se adequou nos cantos de maneira satisfatória para o operador, ou seja, uma vez que o mingau foi aplicado na camada de *gel coat*, o operador forneceu um *feedback* sobre o material em termos de aprovado ou reprovado. O mingau contendo pó de rebarba foi então aplicado de maneira idêntica ao mingau convencional, isto é, se utilizando de pincel 2 polegadas e meia para aplicar o material nos pontos com ângulos perpendiculares e agudos para arredondar as arestas.

Por fim, a amostra que obteve tanto aspectos técnicos como adesão na superfície e no pincel, quanto operacionais, ou seja, aprovação do colaborador que aplicou, foi corrigida quanto à proporção de *roving* picado, para aumentar ainda mais a aplicabilidade com o pincel.

Essa alteração se deu devido a, quanto mais *roving*, menos adesão no pincel a mistura possui devido à presença dos grânulos de *roving* e devido à sugestão do próprio operador, que pontuou que a amostra poderia ficar ainda mais adequada para os parâmetros da linha de produção.

### **3.4- Cálculo Financeiro**

Após a verificação técnica do material na linha de produção, um levantamento financeiro foi feito para verificar se a viabilidade de aplicação do processo de cominuição

necessário para obter a rebarba em pó era passível de ser instituído de maneira interna à empresa. É importante ressaltar que essa é uma análise preliminar do ponto de vista fabril, uma vez que não leva em conta fatores contábeis e governamentais como impostos ou incentivos do governo para aquisição de máquinas.

Esse levantamento foi feito levando em conta as diversas realidades da fábrica, os pontos abordados foram: mão de obra, equipamentos necessários para o processo de cominuição da rebarba, geração média de resíduos, economia resultante da implementação do novo processo em relação ao descarte convencional, o custo das matérias primas utilizadas e sua demanda, a maneira de pagamento dos equipamentos e, por fim, dados relativos ao mercado financeiro.

Os parâmetros mencionados foram obtidos de duas principais formas: levantamento interno e externo. O levantamento interno dita sobre utilizar dados que são referentes à empresa em si. São dados que vêm ou de indicadores e controles já realizados pela empresa ou de dados referentes à pesquisas de outros setores fabris. Os externos se referem a dados obtidos com terceiros ou fornecedores. Por questões de sigilo fabril, tanto os setores que forneceram essas informações quanto o nome dos terceiros foram omitidos.

É importante ressaltar que alguns desses dados nem sempre concordavam com valores governamentais. Por exemplo, o valor da taxa SELIC usado como base para a Taxa Mínima de Atratividade necessária para o cálculo de Valor Presente Líquido. O valor a ser utilizado foi uma estimativa reconhecida pelo setor financeiro da fábrica, uma vez que não há como prever a evolução do valor da taxa SELIC ao longo do tempo.

Além desses aspectos, algumas considerações foram realizadas para simplificar a análise de acordo com a realidade fabril. O custo com transporte foi considerado como zero uma vez que o material residual de rebarba seria reaplicado internamente. Outras simplificações serão abordadas no tópico de Resultados.

Com esses parâmetros e definições, o recurso utilizado para o cálculo financeiro foi o *Excel*, conforme os parâmetros de análise financeira da empresa. Os parâmetros de Taxa Interna de Retorno, Valor Presente Líquido, *Payback* Simples e Descontado foram calculados, sendo esses os valores que a empresa define como válidos para análises preliminares de investimento, de acordo com os setores financeiros.

Assim, com o *Excel* sendo a ferramenta de trabalho, foram definidos os procedimentos de cálculo para confecção da planilha. Por razões de segurança de dados, a

planilha em si não pode estar em evidência neste trabalho, mas seus procedimentos de cálculo estão a seguir.

Os orçamentos de equipamentos,  $E_p$ , foram diluídos em um ano, sendo 50% de valor de entrada e o restante diluído ao longo dos meses igualmente como definido pela empresa fornecedora dos equipamentos. Ao serem dispostas na planilha, a equação 1 evidencia o cálculo do fluxo de caixa no período 0,  $F_0$ .

$$F_0 = -\frac{E_p}{2} \quad (1)$$

Já os valores envolvidos no período 1,  $F_1$ , ou seja, após um ano, são dados pela equação 2, onde o valor restante dos equipamentos,  $E_{p2}$ , o gasto com mão de obra  $M$  e o ganho com redução de descarte e consumo de talco,  $G_1$ , estão à mostra:

$$F_1 = G_1 - E_{p2} - M \quad (2)$$

A partir disso, todos os gastos consecutivos anuais se resumem ao descrito na equação 3, tendo em vista que os equipamentos já foram eliminados no período 1, assim, obtém-se:

$$F_i = G_i - M \quad (3)$$

Onde “i” é qualquer período maior ou igual a 2. Com esses parâmetros definidos, as equações 4 e 5 descrevem como Payback simples, Payback descontado e VPL foram obtidos. A equação 4 dita o período 0 de cálculo de Payback simples, já a equação 5 retrata os períodos posteriores:

$$P_0 = F_0 \quad (4)$$

$$P_j = P_{j-1} + F_j \quad (5)$$

A equação 5 se traduz como o Payback do período  $j$ , que deve ser maior ou igual a 1, está definido pela soma do Fluxo de caixa de mesmo período com o Payback do período anterior. Para o caso do Payback descontado, primeiramente, o fluxo de caixa foi ajustado de acordo com a inflação ao longo dos períodos, os fluxos obtidos nas equações 1, 2 e 3 foram ponderados de acordo com a taxa de inflação, da forma a seguir, descrita pela equação 6:

$$F'_i = F_i \times (1 - t_{\text{inflação}})^i$$

(6)

Resumindo, o fluxo com inflação é apenas o fluxo normal corrigido pela taxa de inflação. Assim, o Payback descontado possui o mesmo procedimento de cálculo que o Payback simples e as equações utilizadas são estritamente análogas.

O Valor Presente Líquido foi calculado considerando um período de 6 anos, determinado juntamente à gestão da empresa como o tempo aceitável para essa análise de investimento.

Duas foram as formas calculadas, uma por período, se utilizando da equação 7, e outra se utilizando do recurso de VPL do *Microsoft Excel*:

$$VPL = F_i \div (1 + TMA)^i$$

(7)

A TMA, Taxa Mínima de atratividade, como mencionado antes, se baseia no valor da taxa SELIC e é a taxa de juros utilizada para avaliação desse investimento.

## **4- RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1- RESULTADOS**

Como descrito na seção de Materiais e Métodos, o primeiro critério utilizado para avaliar as amostras era a viscosidade aparente obtida ao final da formulação, avaliada utilizando um bastão de vidro. Esse parâmetro era essencialmente qualitativo e importante para a aplicação do material na linha de produção, uma vez que a avaliação do operador também seria qualitativa. A Tabela 6 evidencia os resultados para cada uma das amostras representadas na Tabela 5 da Seção 3, de acordo com o parâmetro utilizado de viscosidade resumido a Aprovado/Reprovado:

**Tabela 6 - Resultados para avaliação aparente de viscosidade para cada amostra**

Amostra	Avaliação
1	Aprovado
2	Aprovado
3	Aprovado
4	Reprovado
5	Reprovado
6	Aprovado

Fonte: Próprio Autor (2024)

A amostra 1, como esperado, passa no parâmetro de viscosidade, já que se trata do material convencional já utilizado pela fábrica. As amostras 2 e 3 apresentaram desempenho semelhante à amostra 1. Essas foram aprovadas no quesito viscosidade. A amostra 6, composta apenas por pó de rebarba, também apresentou desempenho semelhante a amostra 1, contudo foi descartada por motivos financeiros.

Uma vez que a resina utilizada para fabricação de mingau tem preço na casa dos R\$10 - 20 por kg e o talco tem custo na casa de centavos por kg, um material com maior proporção de resina em relação ao material convencional não é de interesse da fábrica já que quanto maior a proporção de resina mais caro o material se torna por kg. A Tabela 7 mostra as faixas de custo comuns aos materiais e o preço da mistura final obtida.

É importante observar que o preço do kg do mingau é um fator decisivo nessa decisão de descartar a amostra 6 como uma alternativa. Não é interessante para a fábrica usar um material com maior preço por quilograma. A Tabela 7 deixa em evidência que, na melhor das hipóteses, o uso de material de acordo com a proporção da amostra 6 encareceria ao menos 92 centavos o kg de mingau, o que não é interessante para as instituições financeiras da empresa.

Esse aumento de custo por kg é resultado da menor capacidade de adequação do pó de rebarba na resina, ou seja, o material atinge a viscosidade limite para uso na fábrica com menor quantidade de carga mineral e, conseqüentemente, aumenta o uso de resina para 1 kg de material, tornando - o mais caro.

**Tabela 7 - Proporção das amostras e custos associados ao material**

Material	Faixa de preço em reais	Proporção de material amostra 1	Proporção de material amostra 6
Resina para laminação	10 - 15	43 %	51,5 %
Roving Picado	35 - 45	4%	4,8 %
Talco	0,40 - 0,70	53%	0 %
Pó de rebarba	-	0 %	43,7 %
	Custo de 1 kg de mistura	5,91 - 8,62	6,83 - 9,89

Fonte: Próprio Autor (2023)

Após a análise qualitativa de viscosidade ser realizada, a análise de reação devido a peróxido residual resultou na seguintes questões:

- 1 dia após formulação: nenhuma das amostras apresentou evidência de reação, continuaram líquidas, apenas levemente mais viscosas e com aparência mais uniforme, sendo esse leve aumento de viscosidade aparente, a priori, proporcional a quantidade de pó de rebarba na amostra;
- 5 dias após formulação: as amostras de 1 a 3 estavam com mais corpo e uniformidade mas não apresentavam evidências de reação, o mesmo não pode ser dito sobre as amostras 4 a 6. As amostras com maior índice de pó de rebarba na composição, 70%, 80% e 100% de substituição, apresentaram evidências de reação, sendo essas evidências pronunciadamente mais evidentes conforme a proporção de pó de rebarba era maior;
- 6 dias após formulação: a amostra 1 aumentou seu corpo, mas, como esperado, não irá reagir pois não tem peróxido residual, a amostra 2 estava bem mais encorpada, mas ainda sem sinais claros de processo reativo. A amostra 3, por sua vez, já começou a exibir evidências de *gel time*, as amostras 4, 5 e 6 já estavam com plenas evidências de *gel time*, porém, estavam entrando em processo de intervalo de pico;
- 7 dias após a formulação: a amostra 1 permanece aumentando sua viscosidade aparente e a amostra 2 também já se encontrava bem encorpada mas ainda sem evidências claras de *gel time*. Todas as outras amostras apresentaram maior índice de reação, já estando maciças, mas não com o aspecto rígido, indicando que o processo reativo ainda estava ocorrendo;

- 8 dias após a formulação: A amostra 1 continuava a aumentar suas viscosidade e a amostra 2 apresentava os primeiros sinais de *gel time*, apresentando aspecto mais maciço e certo nível de agregado. As outras amostras continuavam adquirindo um aspecto mais rígido;
- 12 dias após a formulação: A amostra 1 estava ainda mais viscosa, sem sinal algum de processo reativo, como esperado, enquanto a amostra 2 seguia em processo de *gel time*. Todas as outras amostras ainda não terminaram seu processo reativo, contudo, as amostras com maior teor de pó de rebarba já estão mais rígidas, indicando maior grau de reação.

Tabela 8 relaciona as amostras com suas respectivas vidas úteis, ou seja, o tempo que não apresentaram evidências de reação após preparadas:

**Tabela 8 - Amostras formuladas e suas respectivas vidas úteis**

Amostra	Vida útil
1	Indefinido
2	8 dias
3	6 dias
4	5 dias
5	5 dias
6	5 dias

Fonte: Próprio Autor (2024)

Como mostrado na seção de Materiais e Métodos, o parâmetro de escolha para aplicação posterior seria encontrar as amostras com melhor desempenho nos testes de viscosidade aparente e de vida útil, assim, as amostras 2 e 3 foram selecionadas para teste em linha de produção.

O teste consistia em aplicar a amostra de mingau com pó de rebarba utilizando pincel, exatamente da mesma forma que que o mingau convencional, nos cantos e arestas internas da peça. A Figura 7 mostra como essa aplicação é realizada:

**Figura 7 - Molde de peça contendo gel coat e mingau proveniente da formulação da amostra 3**



Fonte: Próprio Autor (2023)

Os testes em linha visavam unicamente caracterizar a aplicabilidade do material, então, a formulação foi alterada, por fim, de acordo com a opinião direta do aplicador, um colaborador do setor responsável pela utilização do mingau. As amostras formuladas obtidas foram as que a Tabela 9 relaciona:

**Tabela 9 - Amostras formuladas e testadas em linha de produção**

Amostra	Resina (g)	Pó de rebarba (g)	Roving picado (g)	Talco (g)
Amostra 3	430	318	40	212
Amostra 2	430	265	40	265
Amostra 7	430	265	20	265

Fonte: Próprio Autor (2024)

As amostras evidenciadas na Tabela 9 estão elencadas, de cima para baixo, na ordem em que foram testadas. A Amostra 7 é fruto da modificação necessária na Amostra 2 e se mostrou mais promissora quanto a aplicação. Assim sendo, a amostra mais bem sucedida nos parâmetros técnicos da fábrica foi a Amostra 7, com 50% de substituição de talco por pó de rebarba e com redução no uso de *roving* picado. Assim, o cálculo financeiro foi realizado tendo como base essa proporção de material.

Como retratado na seção de Materiais e Métodos, para realizar o estudo econômico atrelado a este trabalho, um levantamento de dados necessários para realizar os cálculos de

VPL, TIR, *Payback* simples e *Payback* descontado propostos foi feito. Os dados levantados de maneira interna obtidos foram os dados na lista que segue:

- Os materiais utilizados para fabricação de mingau são resina de laminação, talco industrial e *roving* picado.
- A mão de obra voltada para manusear o maquinário envolvido custa R\$ 43200,00 ao ano para a empresa.
- SELIC em acordo com os parâmetros dos setores financeiros da empresa, de 13,75%.
- Na época da condução deste estudo, a fábrica consumia 6 toneladas de talco industrial, a receita obtida na amostra 7 garante que esse valor seja reduzido para 3 toneladas. Essa redução acarreta em uma economia de R\$ 2040,00 ao mês com o custo do talco a 68 centavos, que era realidade no tempo de condução de estudo deste trabalho.
- Gasto com resíduos sólidos industriais totais mensal de aproximadamente R\$ 20000,00.
- Geração de resíduos do tipo rebarba de RTM na casa das 25 toneladas/mês, representando 50% do resíduo fabril aproximadamente.
- Período produtivo de 22 dias ao mês, conforme cronograma da fábrica.
- Dia produtivo com 8 horas e 48 minutos de trabalho, também de acordo com o cronograma fabril.

Já os parâmetros obtidos de forma externa foram:

- Inflação com base no ano de 2022 segundo dados do IBGE, 5,79%.
- Custo de equipamentos em R\$380.000,00. Sendo esses equipamentos dois moinhos, necessários para atingir a granulometria especificada na seção de Resumo deste trabalho. Um moinho intermediário e outro para garantir o material mais fino possível.
- O método de pagamento do moinho, como determinado pelo fornecedor externo especializado em moagem e em venda de equipamentos de moagem, seria metade na compra dos equipamentos e o restante a combinar com a empresa, que optaria por amortização em um ano.

Além do levantamento de dados externos e internos, é importante também retratar as simplificações ou premissas que foram tomadas, levando em consideração a realidade do projeto:

- como o uso de material seria interno, não há gasto com transporte;
- todo o resíduo do tipo rebarba do RTM seria processado nos moinhos, para garantir máximo uso dos equipamentos, garantindo uma economia de R\$ 10.000,00 em cima do total de gasto com resíduos já que a rebarba representa 50% do resíduo fabril.

Antes de continuar este tópico, é importante retratar uma questão sobre os equipamentos. O fornecedor garantiu a especificação de granulometria do material. Além disso, assegurou que os tipos dos moinhos utilizados foram moinhos de facas.

Dessa forma, a Tabela 10 representa os parâmetros financeiros calculados, sendo o Fluxo de Caixa e o Fluxo de Caixa descontado, levando em conta as equações da seção de Materiais e Métodos e os parâmetros retratados neste tópico.

**Tabela 10 - Parâmetros de entrada e saída resumidos em fluxos de caixa simples e ponderados pela inflação em reais**

Período	Fluxo de caixa	Fluxo de caixa descontado
0	-190000	-190000
1	-88720	-83591,98
2	101280	89910,39
3	101280	84713,57
4	101280	79817,13
5	101280	75203,70
6	101280	70856,92

Fonte: Próprio Autor (2024)

Com esses valores de fluxo de caixa, os seguintes resultados de parâmetros financeiros foram obtidos, como mostra a Tabela 11:

**Tabela 11 - Parâmetros financeiros obtidos**

Período	Payback simples	Payback Descontado	VPL
0	-190000	-190000	-190000
1	-278720	-273591,98	-77995,60
2	-177440	-183681,59	78274,60
3	-76160	-98968,02	68812,84
4	25120	-19150,89	60484,80
5	126400	56052,80	53182,24
6	227680	126909,73	46753,62

Por fim, valores de Taxa Interna de Retorno e VPL para um investimento de 6 anos foram calculados, com resultados em evidência na Tabela 12:

**Tabela 12 - Valores de TIR e VPL para o cenário descrito**

VPL	TIR
34745,06	18%

Fonte: Próprio Autor (2024)

## **4.2- DISCUSSÕES**

De maneira geral, as amostras seguiram um comportamento de acordo com o esperado quanto a durabilidade. Como mostra a Tabela 8, as amostras com maior quantidade de material de rebarba perdem sua utilidade de maneira mais acelerada, mesmo que esse processo como um todo não seja tão acelerado. Isso se encaixa com os parâmetros esperados, uma vez que mais material de rebarba implica em maior quantidade de peróxido residual e, portanto, mais rapidez no processo reativo. Mesmo sendo esses os resultados, em termos de durabilidade, todas as amostras respeitam a rotatividade produtiva da fábrica, que usa uma batelada de talco, em média, por dia, a depender da produção, ou seja, o material seria gasto antes de perder as propriedades necessárias para utilização.

Para o caso da análise de viscosidade, com um desfecho qualitativo, a Tabela 6 clarifica que conforme se aumenta a quantidade de material de rebarba, mais consistente a mistura se torna mesmo que se esteja utilizando a mesma proporção em massa de sólidos adicionados, ou seja, 53%. As razões para isso podem ser inúmeras, uma delas pode ser que o índice de absorção de óleos do material de rebarba é menor do que o do talco, mas

isso é apenas uma possibilidade, que foge do escopo de estudo deste trabalho comprová-la.

Além do fator viscosidade, preço também torna-se um problema quanto a maximizar a quantidade de material de rebarba na mistura, uma vez que a proporção ótima encontrada para um composto puramente de rebarba e sem talco torna o mingau mais caro, como mostra a Tabela 7. Assim, de maneira prática, a amostra 7, contendo metade de substituição de talco torna-se a opção tecnicamente mais atrativa em um primeiro momento, sendo a amostra que mais atende, satisfatoriamente, os 3 principais critérios de análise para aplicabilidade desse material, viscosidade aparente, durabilidade e conformação com o pincel.

De maneira simplificada, o objetivo técnico deste trabalho foi atingido, uma amostra viável foi concluída e formulada dentro dos parâmetros técnicos que a fábrica utiliza. Contudo, além de parâmetros técnicos, é necessário que esses dados se conformem de maneira financeira. Como a Tabela 11 mostra, o investimento leva algo em torno de 4 a 5 anos para iniciar retorno. Além disso, o valor da Taxa Interna de Retorno está acima da Taxa Mínima de Atratividade como mostra o valor de TIR na Tabela 12, o que sugere que o investimento é viável.

As problemáticas envolvendo esse resultado são:

- 4 a 5 anos para esse tipo de investimento pode não ser atraente para os investidores e para a diretoria da empresa, mas esse critério está fora dos parâmetros de análise deste trabalho, sendo esse um julgamento de terceiros.
- A análise financeira se baseia na hipótese de que todo o resíduo de rebarba teria redestinação, não necessariamente para a via retratada neste trabalho. Porém, isso demanda que haja outra destinação que não o aterro, isso considerando que o uso de carga no mingau será sempre, no mínimo, 3 toneladas devido ao 50% de substituição obtido na receita ótima da amostra 7.
- A fábrica não possui infraestrutura nem produtividade para utilizar as 25 toneladas de pó de rebarba de maneira interna na forma de constituinte do mingau. Esse tipo de situação implicaria em um estoque de material inutilizado que, além de demandar espaço, também se perderia com o tempo, uma vez que a vida útil do material gira em torno de uma semana.

Em outras palavras, tecnicamente, o material obtido atende as necessidades da fábrica, mas financeiramente, pode não apenas ser pouco atrativo aplicar o processo de

fabricação de acordo com as análises da diretoria da empresa mas também depende que outras vias de aplicação sejam instauradas concomitantemente para que suas hipóteses mais básicas sejam atendidas.

## **5- CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES**

### **5.1- Considerações finais**

O presente trabalho se propôs a identificar uma possível solução para a problemática dos resíduos sólidos gerados pela empresa de fomento, de maneira técnica, é possível dizer que essa meta foi cumprida. De fato, dentro dos parâmetros de qualidade da fábrica, o material reprocessado pode ser adicionado até certa porcentagem, 27,04 %, no composto conhecido como mingau.

Entender os efeitos mais intrínsecos dessa adição foge do escopo proposto, assim como as especificações do material adicionado também podem e provavelmente devem influenciar nas propriedades finais do produto, como granulometria, teores de materiais proveniente da peça de onde a rebarba fora removida e outros estudos podem ser realizados para . Contudo, os parâmetros financeiros obtidos podem não constituir um cenário atrativo para algumas instituições, que, em geral, procuram uma solução financeiramente mais imediata com um *payback* menos demorado.

### **5.2- Sugestões para trabalhos futuros**

Deste trabalho, surgem 3 principais questionamentos que poderiam ser abordados em projetos futuros, o primeiro sendo os fatores dominantes que aumentariam o índice de possibilidade de uso de material, ou seja, o que é necessário alterar no material de rebarba em pó para aumentar o índice de uso. O segundo ponto é o efeito da adição desse material no mingau, de maneira a entender como isso altera as propriedades mecânicas, onde isso pode vir a ser especialmente interessante em aplicações onde há uma necessidade de de um material com propriedades mais controladas e específicas. Por fim, encontrar uma solução financeiramente viável torna-se extremamente interessante do ponto de vista de mercado, sendo um objeto de estudo que pode vir a ser abordado futuramente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ORTH, C. M.; BALDIN, N.; ZANOTELLI, C. T. Implicações do processo de fabricação do compósito plástico reforçado com fibra de vidro sobre o meio ambiente e a saúde do trabalhador: o caso da indústria automobilística. *Revista Produção Online*, Florianópolis, SC, v.12, n. 2, p. 537-556, 2012. Disponível em:

<<http://www.producaoonline.org.br/rpo/article/download/943/918>> Acesso em: 12 de novembro de 2012.

ZUÑEDA, João L.; JAROSKI, Maurício. Caracterização dos Indicadores Produtivos e Monitoramento do Desempenho da Indústria de materiais compósitos no Brasil.

Apresentação em PDF, 2018. Disponível em:

<[https://www.almaco.org.br/wp-content/uploads/2020/02/Indicadores\\_ALMACO-Maio-de-2018.pdf](https://www.almaco.org.br/wp-content/uploads/2020/02/Indicadores_ALMACO-Maio-de-2018.pdf)> Acesso em 20 de Junho de 2024.

ALMACO. Indicadores de Desempenho do Mercado de Compósitos. ALMACO, 2023.

Disponível em:

<[https://almaco.org.br/wp-content/uploads/2024/03/indicadores\\_de\\_desempenho\\_2023\\_port.pdf](https://almaco.org.br/wp-content/uploads/2024/03/indicadores_de_desempenho_2023_port.pdf)> Acesso em 20 de Junho de 2024.

NEGOITA, Catalin; CRISTACHE, Nicoleta; BODOR, Marius. The Epoxy Resin - History and Perspectives. *Materiale Plastice, Romênia.*, v. 3, n. 53, p. 565-571, Janeiro de 2016

CORREIA, R. João; ALMEIDA, M. Nuno; FIGUEIRA, R. João. Recycling of FRP composites: reusing fine GFRP waste in concrete mixtures. *Sciencedirect*, 2011.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652611001880>> Acesso em 20 de Abril de 2024

OTHMER, Kirk; *Encyclopedia of Chemical Technology*. 5ª Edição. Nova Iorque. Wiley, 2004

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 307 de 2002, 348 de 2004 e 431 de 2011, que estabelecem diretrizes e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Recuperado em 17 de junho de 2018 em

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>

CARVALHO, Lucas de P.; SANTANA, José C. C.. RESÍDUO DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA: ULTIMAÇÃO ADOTADA POR EMPRESAS EM SÃO PAULO E MINAS GERAIS. Singep, 2018. Disponível em:

<<https://www.singep.org.br/7singep/resultado/59.pdf>>

CONROY, Amanda; HALLIWELL, Sue; REYNOLDS, Tim. Composite Recycling in construction industry. Sciencedirect, 2006. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X05002125>> Acesso em Abril de 2024

WEY, Y.; HADIGHEH, S. A. Cost benefit and life cycle analysis of CFRP and GFRP waste treatment methods. Sciencedirect, 2022. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006182202311X>> Acesso em Abril de 2024

LIN, Jiao et al. Using recycled waste glass fiber reinforced polymer (GFRP) as filler to improve the performance of asphalt mastics. Sciencedirect, 2022. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622000038?via%3Dihub>> Acesso em Abril de 2024

SOUSA, T. Eliane; LOPES, A. Wilson; ANDRADE, B. Jailson. FONTES, FORMAÇÃO, REATIVIDADE E DETERMINAÇÃO DE QUINONAS NA ATMOSFERA. Química Nova, Vol 39, No. 4, p. 486-495, Fevereiro de 2016

YEASMIN, Sharmina et al. Study of Physical, Chemical and Thermo-Mechanical Properties of Talc Filled Polyester Resin Composite Using Styrene Monomer. Materials Sciences and Applications, Vol 13, No. 11, Novembro 2022

NICOLAI, Luigi; BORZACHIELLO, Assunta; Wiley Encyclopedia of Composites. 1a Edição. Reino Unido. Wiley, 2012

SMOLEN, Jakub et al. The influence of UV radiation on the properties of GFRP laminates in underwater conditions. Nature, 2024. Disponível em:

<<https://www.nature.com/articles/s41598-024-57999-8>> Acesso em Junho de 2024