

FAG – FACULDADE ASSIS GURGACZ

RODRIGO VOICHICOVSKI

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE FIBRAS PARA A ELABORAÇÃO
DE PAVIMENTO INTERTRAVADO**

CASCADEL - PR

2019

FAG – FACULDADE ASSIS GURGACZ

RODRIGO VOICHICOVSKI

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE FIBRAS PARA A ELABORAÇÃO
DE PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Trabalho apresentado como
requisito parcial do 2º semestre
para a disciplina de TCC do
curso de Engenharia Mecânica
da Faculdade Assis Gurgacz.

**Orientador: Prof. Me. Janes
Caciano Frozza.**

CASCADEL - PR

2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus, que me deu saúde e forças, e também a toda minha família e amigos por me incentivarem a ser uma pessoa melhor, e não desistir dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus. A minha família, amigos e a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho apoiando em todos os momentos.

Agradeço também aos professores da Faculdade Assis Gurgacz que se disponibilizaram a auxiliar sempre que necessário, ao meu orientador Professor Me. Janes Caciano pelo apoio, e a todo o corpo docente desta faculdade, ao Diretor da Instituição e todos os funcionários.

RESUMO

Com os avanços tecnológicos e aumento da competitividade nos mercados mundiais, há um aumento na produção de materiais que utilizam PRFV (Plástico Revestido com Fibra de Vidro), e como consequência há um aumento na geração desses mesmos resíduos. Todos esses fatores são aliados as políticas de responsabilidade que as grandes empresas têm sobre a sua geração de resíduos, fazendo crescer também a necessidade da busca por uma forma de reaproveitamento. Além desta questão, outro fator importante tem sido a preocupação ambiental, que acaba exigindo que estes resíduos sejam reaproveitados de uma forma que não prejudique o meio ambiente. Relacionado a estas questões, o trabalho busca apresentar todos os gastos que uma grande empresa localizada na cidade de Cascavel – PR, tem para com a destinação deste resíduo e consequentemente buscando uma forma para se reaproveitar o resíduo gerado, tendo em vista que, a empresa em questão possui um grande déficit tanto em quantidade de resíduos que não são aproveitados, como no setor financeiro, pois a mesma paga para que a sobra de material seja descartado. Para poder apresentar os gastos, foi utilizado os dados que foram coletados durante o ano de 2018. Posteriormente, também foi coletado resíduos de fibras para testes, nas quais consistiram em fazer uma massa de cimento, colocando o material em questão na mistura, afim de elaborar corpos de provas que posteriormente foram submetidos a um teste de compressão, com base analisando se a carga a eles proposta atinge os valores descritos em NBR. Após os testes, ficou evidenciado que o resíduo de fibra se misturado junto ao cimento, não implica na melhora da resistência a compressão. Levando-se em consideração que os valores descritos na norma brasileira são destinados apenas para veículos leves transitando, diferentemente da África do Sul, que por exemplo propõe um valor mais baixo para ciclovias e estacionamentos.

Palavras-chave: Resíduo, Geração, Reaproveitamento.

SUMMARY

With technological advances and increased competitiveness in world markets, there is an increase in the production of materials using fiberglass-coated plastics (PRFV), and as a consequence there is an increase in the generation of these same wastes. All these factors are allied to the responsibility policies that large companies have about their waste generation, also increasing the need to search for a form of reuse. Besides this issue, another important factor has been the environmental concern, which ends up requiring that these residues be reused in a way that does not harm the environment. Related to these issues, the paper seeks to present all the expenses that a large company located in the city of Cascavel - PR, has for the disposal of this waste and consequently seeking a way to reuse the waste generated, considering that, the company In this case, there is a large deficit both in the amount of waste that is not used, and in the financial sector, because it pays for the waste material to be discarded. In order to be able to present the expenses, we used data that were collected during 2018. Later, we also collected fiber residues for testing, which consisted of making a cement mass, placing the material in the mixture in order to elaborate specimens that were later subjected to a compression test, based on whether the proposed load reaches the values described in NBR. After the tests, it was evidenced that the fiber residue mixed with the cement does not imply the improvement of the compressive strength, considering that the values described in the Brazilian standard are intended only for light vehicles traveling, unlike in Africa. South, which for example proposes a lower value for cycle paths and parking lots.

Keyword: Waste, Generation, Reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resíduo de fibra pronta	25
Figura 2: Resíduo da fibra recém laminada.....	25
Figura 3: Resíduo da fibra picado.....	27
Figura 4: Medições na balança	27
Figura 5: Mistura no recipiente	28
Figura 6: Massa no molde	28
Figura 7: Corpos de prova.....	29
Figura 8: Retifica	30
Figura 9: Prensa hidráulica.....	31
Figura 10: Corpo de prova após teste	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química do resíduo de PRFV	18
Tabela 2: Dados referentes ao mês de junho	23
Tabela 3: Número de camadas para moldagem do corpo de prova.....	29
Tabela 4: Resistencia a compressão.....	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Dados referentes ao ano de 2018	24
Gráfico 2: Desperdício matéria prima.....	24
Gráfico 3: Corpo de prova 1.....	32
Gráfico 4: Corpo de prova 2.....	33
Gráfico 5: Corpo de prova 3.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 FIBRA DE VIDRO	15
2.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	16
2.2.1 <i>Hand Lay-up</i>	16
2.2.2 <i>Spray-up</i>	17
2.2.3 RTM Light	17
2.3 RESÍDUOS.....	18
2.4 REAPROVEITAMENTO	20
2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS	21
3 METODOLOGIA	23
3.1 COLETA DE DADOS	23
3.2 MÉTODOS UTILIZADOS	24
3.2.1 Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova	25
3.2.1 Procedimento para o ensaio de compressão	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

As mudanças ocorridas nos últimos anos nos mercados competitivos mundiais, geraram alterações nos principais conceitos de qualidade e produtividade. O que de fato aconteceu, foi uma reação em cadeia nos grandes mercados, provocada pelas empresas japonesas, em uma tentativa de recuperar o país do período pós-guerra.

Os japoneses tomaram então a qualidade como uma ferramenta para a mudança do ponto de vista da geração de riquezas e da produtividade. Eles então, comprovaram no decorrer dos anos que uma melhoria na qualidade dos produtos e processos, provoca uma melhoria significativa na produtividade das empresas, de tal modo estabelecendo um mercado mais competitivo.

Procura-se agora atender as aspirações do mercado consumidor, eliminando desperdícios de matéria-prima, de energia e de tempo. Portanto, se busca melhorar as condições de trabalho e o desenvolvimento dos produtos, sempre voltando-se as necessidades dos clientes.

Neste trabalho será abordado a reutilização do resíduo de PRFV (Plástico Reforçado de Fibra de Vidro). A reciclagem deste tipo de resíduo ultimamente tem sido realizada apenas por empresas especializadas, e que em sua grande maioria trabalha com resíduos derivados dos processos (*Spray up e Handy lay up*), que empregam moldes fechados, fazendo com que o produto reciclado volte para o processo de produção.

Em determinadas empresas existe um elevado gasto com o descarte de resíduos de PRFV (Plástico Reforçado de Fibra de Vidro), se faz necessário uma nova alternativa para a destinação desse tipo de produto. Para que isso ocorra, será imprescindível a coleta de dados referentes a quantidade de resíduos descartados e sua composição química, a fim de elaborar uma nova alternativa de reutilização, que seja ecologicamente viável e traga redução de custos para as empresas.

Este TCC tem como intuito apresentar uma possível alternativa de solução para os problemas referentes a destinação de resíduos de fibra de vidro, pois se trata de um material que é nocivo ao meio ambiente, que também não possui uma forma viável de descarte. O trabalho em questão, tem como análise dois aspectos (econômico e técnico), afim de saber como o material desperdiçado torna-se difícil de reaproveitar. Levando-se em consideração todo esse processo de observação e análise na vivência da empresa, foram feitas pesquisas bibliográficas, do tipo exploratória, com o objetivo de obter dados de custos, e de testes mecânicos para a elaboração de uma nova proposta de reaproveitamento.

Serão apresentados os objetivos e quais as justificativas que motivaram a esta pesquisa, e logo após será apresentada uma revisão bibliográfica na qual haverá um embasamento teórico explicando todos aspectos necessários para a elaboração do que foi proposto.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.1.1 Objetivo geral

- Analisar os gastos que uma empresa de grande porte tem como base o descarte de resíduos de PRFV (Plástico Reforçado de Fibra de Vidro), e propor uma nova alternativa para o reaproveitamento deste tipo de resíduo, neste caso seria a elaboração de pavimento intertravado.

1.1.2 Objetivos específicos

- Coletar os dados de uma grande empresa na qual indique quais os custos que ela tem para a destinação dos resíduos;
- Reincorporar o resíduo de PRFV (Plástico Reforçado de Fibra de Vidro), em um novo processo produtivo;
- Realizar todos os testes necessários no resíduo de PRFV (Plástico Reforçado de Fibra de Vidro) com a finalidade em analisar, se o mesmo suporta a carga para ele proposta;
- Demonstrar os gastos que a empresa teve com a destinação do resíduo no ano de 2018.

1.2 JUSTIFICATIVA

Devido ao fato do compósito PRFV (Plástico Reforçado de Fibra de Vidro) possuir uma baixa degradação, tendo resinas que são tóxicas ao meio ambiente e aos trabalhadores envolvidos, é pertinente uma forma de reaproveitamento desse tipo de resíduo. Tendo em vista, que hoje em dia grandes empresas têm problemas para dar destino a esse tipo de material. O interesse com a temática surgiu pela pouca abrangência no estudo sobre esse tipo de situação

com esse material, que se mostra danoso a saúde dos trabalhadores e prejudicial ao meio ambiente, através de uma solução de descarte mecânica que normalmente é feita.

Segundo estimativas da ABMACO (Associação brasileira de materiais compósitos), cerca de 18 mil toneladas de resíduos de compósitos são produzidas anualmente, assim surge uma necessidade de gerenciar esses resíduos para que eles sejam reciclados ou reaproveitados da melhor forma possível.

Tudo isso levando-se em conta a existência de uma política nacional dos resíduos, que se torna referência garantida pela (Lei nº 12.305/10), que institui uma responsabilidade sobre os geradores de resíduos para que sejam reciclados ou reaproveitados, sendo ela cumprida ou não pelas empresas que geram esse tipo de resíduos, sendo assim se faz notório a observação se essa lei sendo aplicada corretamente em todo o processo.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Em um processo produtivo em que é utilizado o resíduo de PRFV (Plástico Revestido com Fibras de Vidro), normalmente ocorre uma grande quantidade de sobras. Devido ao fato dos resíduos de PRFV serem de difícil reutilização, pois possuem resinas que são tóxicas ao meio ambiente, e consequentemente as empresas acabam não tendo muitas alternativas para dar destino a sobra desses resíduos, por conseguinte gerando um gasto muito mais elevado.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Atualmente as fibras de vidro são aplicadas em mais de 35.000 produtos, sendo que as mais utilizadas são do tipo E (E-glass), esse tipo de material é composto por filamentos muito pequenos de vidro, que são misturados a vários outros compostos, e ainda um catalisador.

Esse compósito de PRFV possui um grande potencial de aplicação na indústria automobilística, na área de revestimento interno de automóveis, ônibus e caminhões. Após analisado esses dados, o intuito do trabalho é coletar os dados (planilhas) no que se refere a demanda e valores da empresa no ano de 2018, e realizar todos os testes necessários nos laboratórios do Centro Universitário Assis Gurgacz localizado na cidade de Cascavel no Paraná.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FIBRA DE VIDRO

As primeiras ocorrências nas quais foram observadas a produção de fibra de vidro foi durante um fenômeno da natureza que é conhecido por “pele’s haif”, que nada mais é do que o arraste de material proveniente das lavas vulcânicas, ocasionado por ventos fortes na qual dava origem a uma massa fibrosa que era levada pelo vento e ficava alocada em árvores (OTA,2004).

A produção da fibra de vidro teve início aproximadamente 250 A.C na Síria, Egito e Grécia, os artesãos começaram a produzir as fibras através de uma vara de vidro que era aquecida para ser aplicada como relevo sobre a superfície de produtos acabados. Ela começou a ser desenvolvida comercialmente em 1939, no decorrer da 2ª Guerra Mundial, com o intuito de fornecer rigidez e um menor peso aos equipamentos bélicos (OTA,2004).

Existem muitos grupos de vidros por exemplo a sílica, o oxinitrito e o fosfato, porém a sílica é a mais importante para o uso em compósitos (MATTHEWS e RAWLINGS, 1994).

As fibras de vidro curtas do tipo E (E-glass), são feitas a partir de uma mistura de óxidos de Si, Al, B, Ca e Mg (barosilicato de alumina e cálcio), e são normalmente usadas como reforço para materiais termoplásticos por ser de baixo custo quando comparada a materiais como carbono e aramida (WAMBUA et al, 2003) e resultam na melhoria das propriedades dos materiais como a resistência ao impacto e rigidez (LARENA et al, 1992).

A fibra de vidro é bastante disseminada pois possui ótimas propriedades mecânicas, porém, uma de suas desvantagens é a irritação que causa na pele, devido a isso as fibras minerais estão sendo utilizadas como opções um exemplo é o basalto de baixo custo, que possui excelentes propriedades mecânicas, no lugar das fibras de vidro (SZABÓ e CZIGÁNY, 2003).

O vidro é um bom componente de reforço, pois possui uma alta resistência a tração (acima de 3,6 GN/m²) e um alto módulo de Young (94 GN/m²). As fibras de vidro possuem boa estabilidade dimensional, e não sofrem fluência sendo assim essas características são repassadas para o compósito que for reforçado com estas fibras. Como o vidro é relativamente um material inerte, as fibras também são imunes aos ataques biológicos e tem uma boa resistência aos ataques de solventes e produtos químicos. As fibras de vidro não são inflamáveis e tem boas propriedades elétricas (DE e WHITE, 1996).

Estas fibras são utilizadas como reforço em matrizes poliméricas, de modo a se obter compósitos estruturais e componentes moldados. Os compósitos de matriz plástica reforçada com fibras de vidro apresentam as seguintes características favoráveis: elevado quociente entre

resistência e peso, boa estabilidade, boa resistência ao calor, umidade e a corrosão, facilidade de fabricação e custo relativamente baixo. Por esse motivo é de longe o reforço mais utilizado (BARCELLOS, 2009).

2.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Normalmente os processos de fabricação de compósitos são principalmente do tipo molde aberto, porém, existe também o molde fechado. Em um processo de molde aberto, um dos lados da peça fica em contato com o molde, criando um aspecto mais áspero no outro lado, caixas d'água, assentos, piscinas, tubos, tanques de armazenagem e pás de ventilador são exemplos de materiais que utilizam um processo de molde aberto, sendo produzidos principalmente pelo método da laminação contínua (PINTO, et al, 1999).

Os principais processos utilizados para fabricação de autopeças em plástico reforçado com fibra de vidro (“PRFV”) são *hand lay-up*, *spray-up*, *vaccum bag* e *RTM light*.

A laminação contínua é principalmente utilizada para a fabricação de telhas. Este método consiste na deposição de resina sobre um filme contínuo. Deve-se picar e espalhar as fibras de vidro sobre a resina, e a posteriormente uma camada de filme contínuo. O produto entra em estufa e ali se inicia o processo de maturação da resina e a conformação do exemplar. Após o período na estufa há o momento de realizar o acabamento fino da peça, corrigindo dimensão, realizando cortes, retirada de rebarbas. Havendo grandes imperfeições como bolhas e lascas, o descarte se faz necessário (KEMERICH et al 2013 apud Pinto 2002).

Em comparação, o processo de molde aberto tem um baixo custo de fabricação e facilidade na reparação de erros, porém, é difícil controlar a distribuição uniforme da resina e uma alta emissão de estireno, além de serem gerados mais resíduos (WAMBUA et al, 2003).

2.2.1 *Hand lay-up*

O processo de laminação *hand lay-up* é um processo de laminação manual, que é a mais antiga e mais simples forma de se obter os produtos moldados com resinas e fibras de reforço. Este processo não requer investimento em equipamentos, pois o endurecimento da resina (cura ou polimerização) é dado a temperatura ambiente, sendo desmoldada (retirada do molde) após 2 a 3 horas do início da fabricação (ABMACO, 2019).

É um processo adequado para a produção de peças independente da dimensão e espessura. A limitação se dá naturalmente quanto a série (quantidade de peças) a serem produzidas, juntamente com o número de moldes necessários a atingi-la. Este tipo de processo é bastante usado na produção de protótipos, gabaritos e moldes, as peças obtidas neste processo possuem uma face lisa e de excelente acabamento superficial, porém a outra face possui um acabamento rugoso (ABMACO, 2019).

2.2.2 *Spray-Up*

O processo *Spray-Up* é a versão mecanizada da laminação *hand lay-up*, pois ela transfere simultaneamente por bombeamento para a superfície do molde a resina pré-acelerada.

O *Spray-Up* ou moldagem à pistola é o processo de fabricação de compósitos mais usado no mundo, mesmo em regiões altamente industrializadas. Dentre as razões para essa popularidade está o fato de a moldagem aberta ser um processo de fácil aplicação, não requerer altos investimentos e nem conhecimentos técnicos aprofundados (JACOB, 2002).

Ambos os processos são muito econômicos para a produção de peças de pequenas a grandes dimensões, pois utilizam ferramentas e moldes de baixo custo (ABMACO, 2019).

2.2.3 *RTM Light*

A indústria mundial de compósitos sofreu uma revolução, quando o sistema RTM de alta pressão surgiu, pois possibilitava a fabricação em um ritmo de 2 a 30 minutos peças acabadas nos dois lados, com espessuras uniformes, quase sem emissão de estireno na atmosfera, e com baixa perda de matéria prima. Este processo preencheu muitas falhas existentes nos processos de transformação e moldes abertos (JACOB, 2002).

Com a importância adquirida os fornecedores de matéria prima desenvolveram centenas de opções de resinas, reforços e catalisadores exclusivamente para o processo. O processo de Alta Pressão demanda altos investimentos em ferramentas e equipamentos auxiliares, sendo assim surgiu uma variação deste processo denominada “*RTM light*”, para que um mesmo projeto, o investimento no primeiro é de cerca de 10% do necessário no segundo. Essa grande diferença se baseia em diversos pontos, dentre eles o desenvolvimento do molde e contramolde, que são mais leves e não precisam ter o caráter estrutural, já que o fechamento a vácuo substitui os grampos pneumático e parafusos (ABMACO, 2019).

Existem casos em que é usado materiais metálicos no ferramental seja para estender a vida útil ou garantir um acabamento Classe A, na qual é muito comum na indústria automotiva. A maior diferença entre o processo de Alta Pressão e o Light é que qualquer máquina de baixa pressão a base de ar comprimido é suficiente para injeção da resina, pois o vácuo atua como um facilitador do fluxo da resina. O processo RTM Light da forma a peças como frentes, tetos, carcaças de ar condicionados, e para-choques de ônibus e caminhões (JACOB, 2002).

2.3 RESÍDUOS

A indústria brasileira gera cerca de 13 mil toneladas de resíduos por ano, devido à grande quantidade de rebarbas e peças com defeito. A grande maioria desse tipo de resíduo acaba sendo depositada em aterros industriais, isto levando se em conta que as principais contribuintes para essa quantidade de resíduos são as montadoras de veículos (SILVA, 2003).

Na porcentagem em que os elementos boro e alumínio se apresentam, indica que estes elementos são provenientes da composição das fibras de vidro do tipo E (alumínio-boro-silicato). O silício, cálcio, magnésio e potássio possivelmente fazem parte da composição das fibras de vidro. Já a presença de cobalto na composição do resíduo deve-se ao acelerador de cobalto utilizado na catálise da resina de poliéster insaturado (PINTO, 2002).

Tabela 1 - Composição química do resíduo de PRFV

Componentes	Unidade	Composição	Componentes	Unidade	Composição
C	%	83,73	Sr	Ppm	123
Si	%	5,88	P	Ppm	108
Ca	%	7,33	S	Ppm	73
Al	%	1,22	Mn	Ppm	39
B	%	0,88	Zr	Ppm	37
Mg	%	0,59	Zn	Ppm	38
K	%	0,11	Ni	Ppm	19
Fe	Ppm	1068	As	Ppm	11
Na	Ppm	414	Rb	Ppm	10
Ti	Ppm	260	Pb	Ppm	15
Ci	Ppm	195	Cu	Ppm	15
Co	Ppm	135	Cr	Ppm	40

Autor: Pinto (2002)

Na calcinação foi verificado que o material é constituído de 83 % de resina de poliéster e 17 % de fibras de vidro; isento de cargas minerais. Quanto a resina foi quem gerou uma grande quantidade de fumaça e fuligem. Deve ser observado que, caso haja retardante de chama incorporado na composição da resina, a produção de fumaça pode ser mais intensa. No caso de materiais plásticos contendo monômeros aromáticos, como por exemplo, o estireno, a geração de fumaça é mais significativa do que para outros polímeros, tais como polietileno e polipropileno.

O material em estudo é um resíduo sólido, classificado pelo Centro Tecnológico de Saneamento Básico (CETESB) como classe III - inerte. A definição para resíduos sólidos, segundo a norma NBR 10.004 de 2004, afirma:

"Resíduos no estado sólido e semissólido, são aqueles que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível".

As três categorias para classificação de resíduos, adotadas por esta norma, são:

- Classe I - perigosos: resíduos que em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade podem apresentar risco à saúde pública ou efeitos adversos ao meio ambiente;
- Classe II - não-inertes: resíduos que não se enquadram na classe I ou classe III. Podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- Classe III - inertes: resíduos que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas significativas a ponto de acarretar risco à saúde e ao meio ambiente (por exemplo, restos de construção, vidro, certos plásticos e borrachas de difícil decomposição)

A composição do resíduo de PRFV depende do tipo de processo de fabricação do qual é gerado, seja ele em molde aberto ou fechado. No caso em questão, o resíduo é originado de um processo de molde aberto e por isso, geralmente, apresenta maior uma maior quantidade de resina do que em um processo de molde fechado (ORTH, 2012).

2.4 REAPROVEITAMENTO

A reciclagem deste tipo de resíduo ultimamente tem sido realizada apenas por empresas especializadas e que em grande maioria trabalha com os resíduos derivados dos processos que empregam moldes fechados, fazendo com que o produto reciclado volte para o processo de produção (LIMA, 2010).

Esta é uma postura razoável para países europeus como Alemanha e Itália onde esse tipo de fabricação é maioria. Entretanto, no Brasil, estima-se que cerca de 80% dos processos de fabricação utilizam moldes abertos, os quais não tem a mesma facilidade para reutilizar o produto da reciclagem em um novo processo produtivo. Tendo em vista este obstáculo, buscam-se novas aplicações e mercados com os resíduos de PRFV (GRIJÓ & BRUGGER, 2011).

Alguns estudos estão sendo realizados para se verificar a possibilidade do reaproveitamento deste compósito de fibra de vidro, reincorporando-o ao próprio processo produtivo. Outra possibilidade é a triturar as rebarbas desse compósito para reutilizá-las na construção civil. Segundo Theodora Kopoulos (1995), “a adição de fibra em compósitos de cimento, produz uma melhora no desempenho das argamassas e concretos em relação aos cimentos convencionais”. Há pelo menos 30 anos a utilização da fibra de vidro como reforço para pastas de cimento vem sendo estudada, devido as suas propriedades mecânicas como leveza e resistência ao fogo (PINTO, 2002).

Um empecilho no processo de incorporação do resíduo de PRVF na construção civil seria o custo para a moagem do resíduo, porém, conforme tem sido analisado o custo que se tem para com o transporte e o descarte desse material em aterros sanitários é praticamente o mesmo que seria usado para fazer a moagem desse material. Garantindo desta forma a viabilidade do trabalho, além, é claro, de promover o desenvolvimento sustentável, conciliando as partes sociais, ambientais e econômicas em torno de uma única causa (PINTO, 2002).

Segundo Pinto (2002), “este resíduo apresenta potencial de aplicação nos diversos nichos da indústria de cerâmica vermelha”. A aplicabilidade do material particulado, obtido a partir da moagem do resíduo de telhas de PRFV em massa de cerâmica vermelha, se justifica, pois se obtêm uma mistura homogênea e de fácil moldagem. Os resultados dos testes se enquadram aos limites especificados para tijolos de alvenaria e furados, telhas e revestimentos cerâmicos (GRIJÓ & BRUGGER, 2011).

Um impasse no processo de incorporação do resíduo de PRVF na construção civil seria o custo para a moagem do resíduo, porém, conforme verificado, este custo se assemelha ao de transporte para o descarte em aterros sanitários. Garantindo desta forma a viabilidade do

trabalho, além, é claro, de promover o desenvolvimento sustentável, conciliando as partes sociais, ambientais e econômicas em torno de uma única causa (ORTH, 2012).

A geração excessiva de aparas de PRFV implica tanto em prejuízos ambientais quanto econômicos. O fato de serem resíduos extremamente volumosos aumenta os gastos da empresa com o transporte e potencializa os prejuízos ambientais relacionados a esse procedimento, dentre eles, a emissão de gases poluentes pelos veículos transportadores. Já a disposição desses resíduos em aterros, sem nenhum tratamento prévio que ao menos reduza o seu volume, além de elevar os custos de sua disposição, contribui para acelerar o fim da vida útil do aterro. Somase a isso, o fato das aparas não serem biodegradáveis por se constituírem, basicamente, de fibras de vidro e resinas termo fixas (ORTH, 2012).

A indústria de compósitos no Brasil gera cerca de 13 mil toneladas de resíduos por ano, entre aparas e rebarbas de processos e peças com defeito. A maior parte desses resíduos tem como destino os aterros industriais, sendo que as montadoras de veículos, um dos principais segmentos consumidores de materiais compósitos, são tidas como grandes contribuintes para essa expressiva quantidade de resíduos (LIMA, 2010).

2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS

A moldagem aberta é mais agressiva que processos que utilizam moldes fechados. No que se refere à questão ambiental, por conta da não degradabilidade natural da maioria dos PRFV e da redução crescente dos estoques naturais de matérias-primas, esses materiais têm sido responsáveis por sérios problemas ambientais, uma vez que o petróleo ainda constitui a principal fonte de matéria-prima para a fabricação desses plásticos. Outro agravante está na geração de resíduos durante o processo de laminação de um PRFV. (GRIJÓ & BRUGGER, 2011).

Um material laminado possui uma composição básica de 70 a 75% de resina poliéster instaurada e de 30 a 25% de fibra de vidro. No entanto testes de calcinação demonstraram que no resíduo a proporção é quase o inverso com aproximadamente 70% de fibra de vidro e 30% de resina (GRIJÓ & BRUGGER, 2011). Esta variação ocorre devido a forma que um laminado é confeccionado pois o refugo é composto principalmente pelas rebarbas que são geradas no processo.

Segundo Fontan (2009), “os resíduos gerados contêm elevados teores de cargas minerais, porém fibra de vidro e resina em menor proporção”. Já Joshi et al (2003) afirma que

“a fibra de vidro em sua forma original é um material seguro, mas quando tratada, ela recebe metais pesados, como o cromo, tornando-se tóxica” (Silva, 2010).

Atualmente, na região da serra gaúcha o acúmulo de resina poliéster reforçada com fibra de vidro cresce vertiginosamente, atingindo aproximadamente 80 toneladas por mês, o que acaba causando um grande transtorno, quanto ao seu depósito em aterros locais, e a inutilização da matéria prima (FONTAN, 2009).

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada no setor de fibras/modelação da empresa em questão durante todo o ano de 2018, os mesmos foram obtidos através de arquivos .xml, que o próprio setor de produção alimenta de acordo com a sua produção/demanda.

O setor de fibras da empresa tem um controle via sistema Totvs (próprio da empresa) que fornece informações de todo material que é usado para fabricação das peças. Cada tipo de material seja resina, gel e manta tem o seu código correspondente, e também possui um controle mensal que demonstra a quantidade e o valor gasto de cada item, conforme exemplo da tabela 2 abaixo.

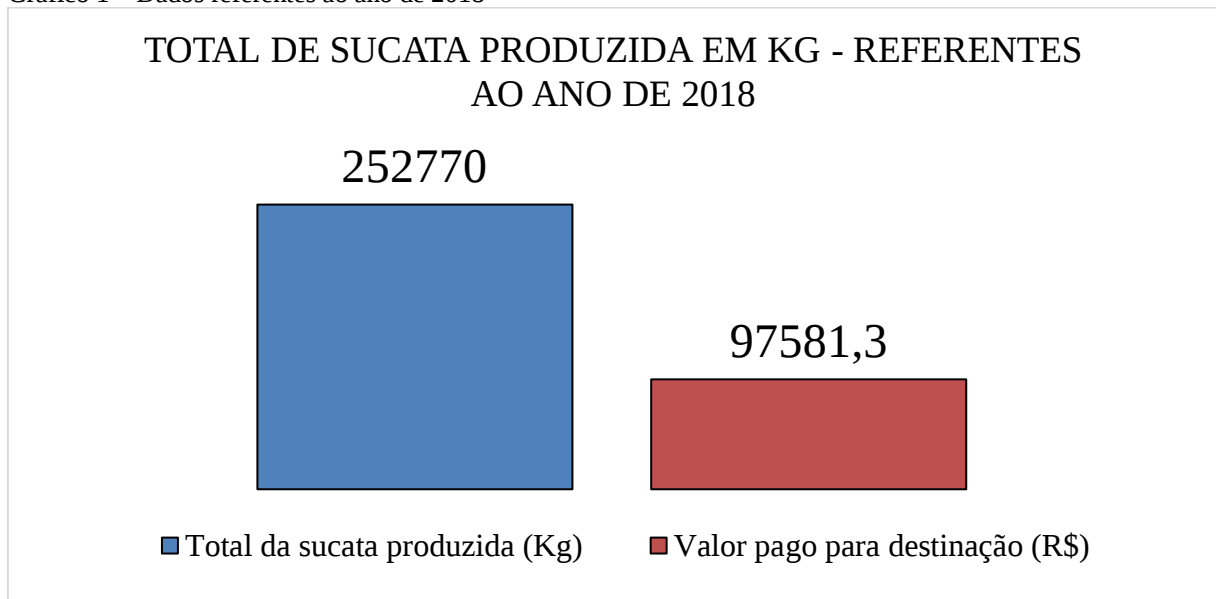
Tabela 2 – Dados referentes ao mês de Junho

JUNHO			
Item	Descrição	Quantidade (kg)	Valor
202450	Resina Rtm	7.040	R\$ 62.559,94
005204	Resina Laminação	78.090	R\$ 571.713,49
210241	Gel coat fundo primer (branco)p / preto	11.200	R\$ 98.376,94
101438	Gel cinza Aleuta	4.000	R\$ 29.085,59
110185	Gel coat Blanc	200	R\$ 3.040,51
231336	Gel Luna	2.400	R\$ 17.496,74
110186	Gel Viena	480	R\$ 8.787,30
133056	Manta RTM	-	R\$ 0,00
005199	Fio Rovin 2400	44.730	R\$ 182.405,49
	Sucata	12.660	R\$ 4.684,20

Fonte: O autor

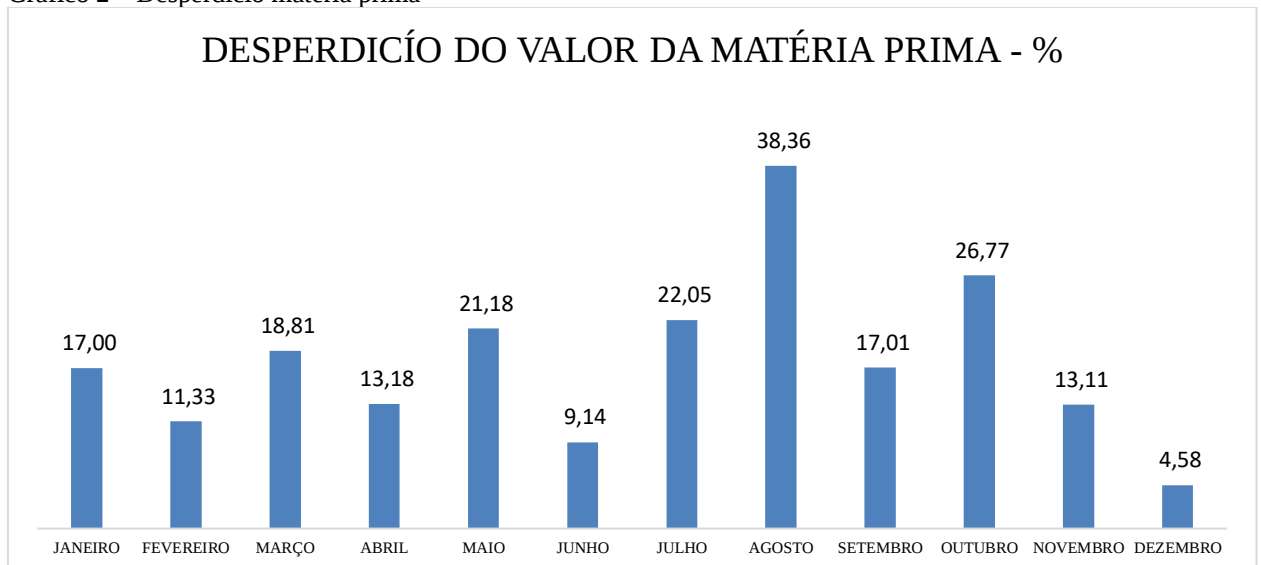
Nestes arquivos foi possível obter todos os dados referentes a quantidade de PRFV (Plástico Reforçado com Fibras de Vidro), que a empresa descartou durante o ano de 2018. Para base de cálculos, o custo médio de 1 Kg de fibra produzido é cerca R\$: 6,66 e o custo que a empresa paga tem para a destinação da sucata é cerca de R\$: 0,37. Através destas informações, foi possível quantificar, quais foram os valores aproximados que a empresa gastou com matéria prima, e também quais foram os valores que a empresa teve que desembolsar para com o descarte do resíduo durante o ano de 2018, tais valores estão descritos nos gráficos 1 e 2 abaixo.

Gráfico 1 – Dados referentes ao ano de 2018



Fonte: O autor

Gráfico 2 – Desperdício matéria prima



Fonte: O autor

3.2 MÉTODOS UTILIZADOS

Para a realização dos testes o primeiro passo foi realizar a coleta dos resíduos da fibra na empresa. Existem várias formas em que o resíduo é descartado, dentre elas a principal é quando o material a ser fabricado, já está pronto e acaba sobrando rebarbas que são retiradas e assim gera o maior volume de descarte para a empresa, conforme “Figura 1”.

Figura 1 – Resíduo de fibra pronta



Fonte: O autor

O outro tipo de resíduo que é gerado e também pode ser usado para reaproveitamento, é o resíduo quando ainda está em forma de manta, porém coberta com resina e gel, que está sendo demonstrado na “Figura 2”. Esta forma de resíduo gera bem menos volume, pois ele sobra apenas nos cantos da peça após a laminação.

Figura 2 – Resíduo da fibra recém laminada



Fonte: O autor

3.2.1 Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova

Após a coleta dos resíduos, se iniciou o procedimento para a elaboração dos corpos de prova, seguindo a NBR 5738:2015.

Primeiramente foi calculado o volume do molde, através da equação 1:

$$V = h \cdot \pi \cdot r^2 \quad (1)$$

Onde:

h = altura (m)

r = raio (m)

$$V = 0,2 \cdot \pi \cdot 0,05^2 = 0,001570 \, m^3$$

$$V = 0,001570 \, m^3$$

A mistura foi feita com os resíduos da fibra recém laminada, que foi citada anteriormente, porém após a coleta do resíduo, ele teve que ser picado em pedaços menores conforme “Figura 3”, para facilitar no momento da mistura junto a areia e pedra brita, e a adição de água. Sendo assim, a mistura foi preparada no laboratório de ensaios mecânicos estruturas e construção civil do Centro Universitário FAG. Para designar as quantidades de cada material a ser utilizado, foi levado em conta o volume do molde do corpo de prova que foi calculado conforme a equação 1, esse valor foi multiplicado por 5, sendo a quantidade de corpos de prova que foram feitos. A proporção entre os materiais que constituíram a mistura foi de 4,2: 2,8: 1,2: 1.1: 0,5, vale salientar que os valores são expressos em unidade de massa.

Sendo assim, as quantidades utilizadas foram.

- 2,2 Kg de cimento
- 1 Kg de água
- 3,3 Kg de areia
- 0,883 Kg de pedra brita
- 0,467 kg de resíduo de fibra.

Figura 3 – Resíduo da fibra picado



Fonte: O autor

O cálculo se deu pelas quantidades de cada material a ser utilizado, os mesmos foram devidamente pesados, utilizando um balde que tinha um peso de 748.5 gramas, conforme “Figura 4”, e assim sendo descontado esse valor do peso total para a obtenção do peso necessário que foi pré-definido anteriormente.

Figura 4 – Medições na balança



Fonte: O autor

Após todos os materiais forem devidamente pesados e separados, eles foram colocados em um recipiente para a mistura. Como a quantidade a ser usada era pequena não foi necessário a utilização da betoneira, mas a mistura da massa foi feita apenas com uma enxada, conforme figura 5.

Figura 5 – Mistura no recipiente



Fonte: O autor

Todos os materiais foram misturados, e depois despejados dentro do molde do corpo de prova como mostrado na “Figura 6”, porém anteriormente os moldes foram revestidos com uma fina camada de óleo, como descrito no item 7.2.1 da NBR 5738:2015 e golpeados com uma barra de ferro, para retirada de possíveis bolhas de ar que pudessem ser criadas dentro do molde. A quantidade de golpes também foi feita segundo a tabela 3, que também é encontrada na NBR 5738:2015.

Figura 6 – Massa no molde



Fonte: O autor

Tabela 3 – Numero de camadas para moldagem do corpo de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	–	–
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	–	–

Autor: NBR 5738:2015

Este processo foi realizado no dia 21/10 as 16:00 h no laboratório da própria faculdade, seguindo as regras, conforme a NBR 5738:2015, o tempo de cura necessário para um corpo de prova cilíndrico é de 24 horas, em uma superfície horizontal e rígida em um local arejado.

Com base no experimento, o material foi desmoldado no dia 22/10 as 18:00 h, conforme “Figura 7”, e posteriormente colocado em uma câmara úmida presente no laboratório de ensaios mecânicos estruturas e construção civil.

Figura 7 – Corpos de prova



Fonte: O autor

3.2.2 Procedimento para o ensaio de compressão

No dia 29/10/2018, 7 dias após os corpos de prova estarem na câmara úmida, os mesmos foram retirados para a realização do procedimento do ensaio de compressão. Primeiramente os corpos de prova foram passados na retifica, conforme NBR: 5738;2015, afim de remover uma fina camada de material da base, para evitar ondulações e abaulamentos dos corpos de prova. Este processo foi realizado em um equipamento de retifica, que está presente no laboratório de ensaios mecânicos estruturas e construção civil do Centro Universitário FAG, conforme a “Figura 8” a seguir.

Figura 8 – Retifica



Fonte: O autor

Após serem retificados, três corpos de prova foram para a prensa para serem submetidos ao ensaio de compressão. E devido ao fato de os corpos de prova serem cilíndricos, todo o procedimento realizado foi feito de acordo com a NBR 5739;2007. Na “Figura 9” pode ser visto o corpo de prova posicionado na prensa para a realização do ensaio.

Figura 9 – Prensa hidráulica



Fonte: O autor

Figura 10 – Corpo de prova após teste



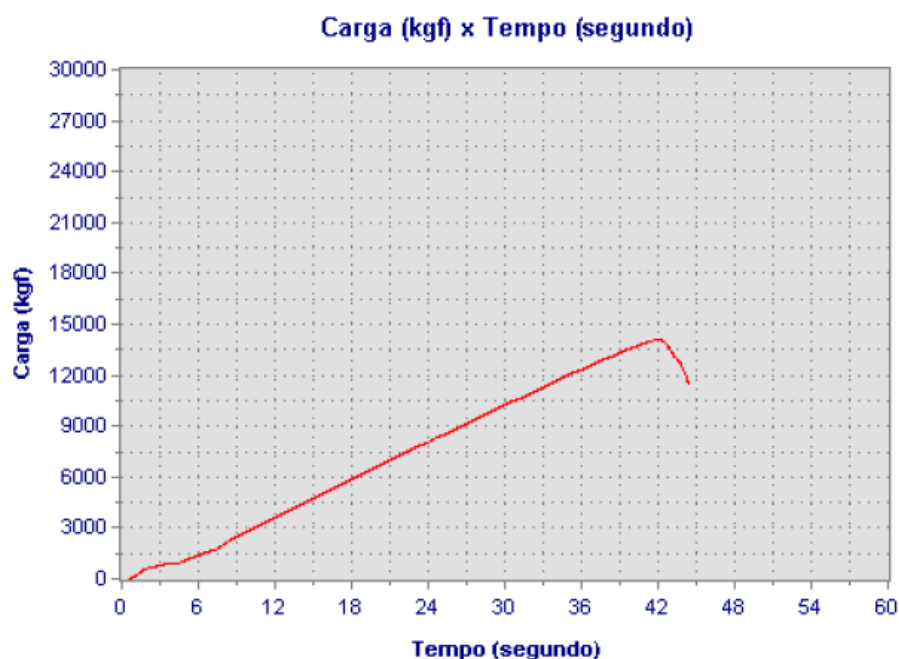
Fonte: O autor

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

O primeiro corpo de prova após ser submetido ao ensaio de compressão obteve os seguintes resultados:

- Carga máxima (kgf): 14.060
- Tensão máxima (Mpa): 17,6

Gráfico 3 – Corpo de prova 1



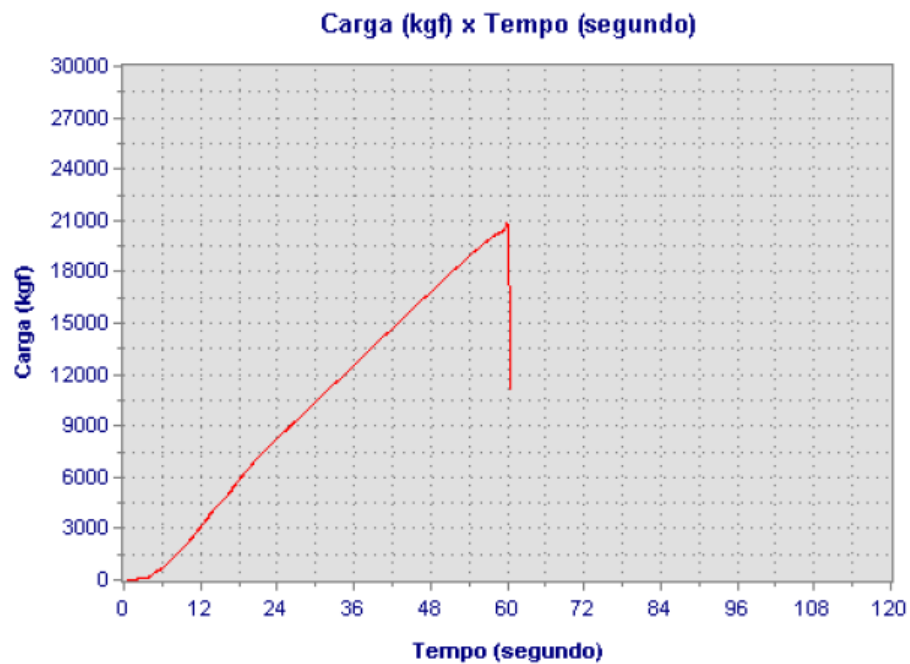
Fonte: O autor

De acordo com o gráfico apresentado pelo software da prensa, fica possível identificar que a carga máxima chegou quase a 15 kgf, em cerca de 42 segundos. Já o segundo corpo de prova apresentou os seguintes resultados:

- Carga máxima (kgf): 20.360
- Tensão máxima (Mpa): 25,4

Na qual houve um aumento de um pouco mais de 20 kgf, em um intervalo de tempo de aproximadamente 60 segundos.

Gráfico 4 – Corpo de prova 2

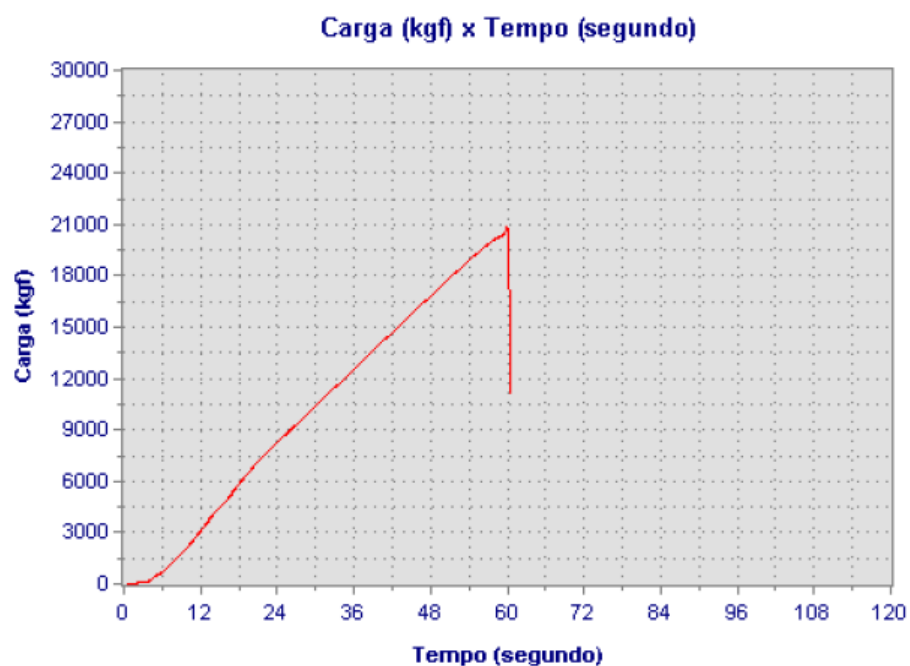


Fonte: O autor

Por fim, o ultimo corpo de prova a ser testado com 7 dias, apresentou os seguintes resultados:

- Carga máxima (kfg): 17.090
- Tensão máxima (Mpa): 21,3

Gráfico 5 – Corpo de prova 3



Fonte: O autor

Após a realização dos testes, foi calculado conforme a NBR 5739;2007, a resistência à compressão, que deve ser obtido através da equação 2:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot r^2} \quad (2)$$

Onde:

σ = Tensão

F = Força

A = Área

Para o primeiro corpo de prova temos:

$$\sigma = \frac{14060}{\pi \cdot 5^2} = 179,10 \text{ kgf/cm}^2$$

Para o segundo corpo de prova temos:

$$\sigma = \frac{20360}{\pi \cdot 5^2} = 259,36 \text{ kgf/cm}^2$$

Para o terceiro corpo de prova temos:

$$\sigma = \frac{17090}{\pi \cdot 5^2} = 217,70 \text{ kgf/cm}^2$$

De acordo com a NBR 9781:2013, para corpos de prova que foram submetidos a ensaio de compressão antes dos 28 dias, é necessário que ele tenha 80% do f_{pk} , especificado na tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Resistência a compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: NBR 9781:2013

Portanto, o valor mínimo em que os testes dos corpos de prova deveriam ter apresentado deveria ter sido de 28 Mpa. Sendo assim, fica evidente que a mistura com o resíduo do PRFV (Plástico Reforçado com Fibras de Vidro), não implicou na melhora da resistência a compressão do corpo de prova.

Cabe salientar, que a norma brasileira NBR: 5738;2015 exige que os Pavimentos tenham que suportar resistências elevadas, não levando em consideração outros usos de sobrecargas, como por exemplo calçadas de praças e ciclovias. Diferentemente das normas de países como África do Sul, na qual é estipulado valores de resistência à compressão que são de 25 Mpa, para veículos leves, 60 Mpa para veículos pesados, e de 15 Mpa para ciclovia e estacionamentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expectativa com relação a esta pesquisa com caráter exploratório foi apresentar e proporcionar ao mercado uma nova forma de reaproveitamento dos resíduos de PRFV (Plástico Reforçado com Fibra de Vidro), tendo em vista que grandes empresas sofrem para com o descarte deste tipo de resíduo.

De acordo com a ABMACO (Associação brasileira de materiais compósitos) cerca de R\$ 120 milhões são gastos por ano com o descarte do resíduo em aterros sanitários. Desse modo, houve a proposta de elaboração de um novo modelo de pavimento intertravado, que já está relacionada a sustentabilidade que hoje em dia é primordial, uma vez que, existem leis que obrigam grandes empresas a ter responsabilidade sobre a geração de resíduos.

Além disso, o pavimento intertravado hoje em dia é uma realidade, pois se trata de um calçamento ecológico, que já está sendo orientado por lei em algumas cidades brasileiras a ser utilizada de forma consciente.

Porém para o trabalho em questão, as quantidades escolhidas para a elaboração dos corpos de prova, não atingiram as resistências mínimas de compressão descritas por norma, para que pudessem ser utilizadas como uma nova forma de reaproveitamento.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os conhecimentos que foram adquiridos durante o desenvolvimento deste trabalho, podem ser ampliados para algumas sugestões de trabalhos a seguir:

- (i) Utilizar o resíduo da fibra picado ou moído, para elaboração de novos testes junto ao cimento, podendo ser usado tanto em calçamento, como em edificações.
- (ii) Procurar uma forma de separar a resina do fio rovin, a fim de reutiliza-lo no processo produtivo.
- (iii) Realizar um estudo na viabilidade econômica do reaproveitamento de resíduos de fibras, quando o mesmo for reincorporado a um processo produtivo.

REFERÊNCIAS

ABMACO..., **Compósitos 2 “Tecnologias de processos”**. São Paulo 2009.

BARCELLOS, I. O.; SOUZA, A. C.; SELKE, A. E.; **Incorporação de Lodo Industrial em Compósitos de Resina Poliéster**. Departamento de Química, Universidade Regional de Blumenau, SC, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v19n2/v19n2a14.pdf>> Acesso em: 23 de abril de 2019.

FONTAN, Osni. **Aplicação de tramas de fibras de pupunheira (*Bactris Gasipaes*, H.B.K.) em compósitos híbridos com fibra de vidro em matriz de resina poliéster insaturado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade da Região de Joinville, SC, 2009. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=199462> Acesso em: 20 de abril de 2019.

GRIJÓ, P. E. A.; BRUGGER, P.; **Estudo Preliminar para Gestão Ambiental na Produção de Pranchas de Surfe**. International Workshop Advances in Cleaner Production, SP, 2011. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5B/2/Grijo_PEA%20-%20Paper%20-%205B2.pdf> Acesso em: 9 de novembro de 2012.

JACOB, A. Spray-up offers process improvements. **Reinforced Plastics**, v.46, n.1, p. 32-34, January, 2002, (artigo com tradução livre das autoras).

JOSHI, S. V.; et al. **Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites**, USA, 2003. Disponível em: <<https://www.msu.edu/~satish/Compositesa-final%20published.pdf>> Acesso em: 21 de abril de 2019.

KEMERICH et al., **fibras de vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados**. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/7590/pdf>> Acesso em: 20 de abril de 2019.

LIMA, Gilmar. **Compósitos vislumbram oportunidades nas áreas de transporte e infraestrutura**. Revista Plástico Moderno, ed. 423, jan. 2010. Disponível em: <<https://www.plastico.com.br/perspectivas-2010-abmaco-compositos-vislumbram-oportunidades-nas-areas-de-transporte-e-infraestrutura/>> . Acesso em: 11 abril de 2019.

MATTHEWS, F. L, RAWLINGS, R. D. **Composite Materials: Engineering and Science**. Chapman and Hall, UK, 1994.

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 abril de 2019.

OTA, W. N.; **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional.** Dissertação (Pós-graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, PR, 2004. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/058.pdf>> Acesso em: 05 de junho de 2019.

PINTO, Kelly Nanci Carneiro. **Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro.** São Paulo, 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002

SOARES, R. R. et al. **Influência do tipo de fibra nas propriedades de compósitos processados por moldagem por transferência de resina.** Departamento de Engenharia Química da Universidade de Caxias do Sul, RS, Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2007. Disponível em: < <http://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2007/PDF/581.pdf>> Acesso em: 01 de maio de 2019.

SILVA, R. A.; REZENDE, M. C. **Erosão em Compósitos à Base de Fibras de Vidro/Kevlar e Resina Epóxi de uso Aeronáutico.** São José dos Campos, SP, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v13n1/15073.pdf>> Acesso em: 29 de abril de 2019.

WAMBUA, P, IVENS, J, VERPOEST, I. **Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?** Elsevier Science, Belgium, 2003.