

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO RIO GRANDE DO NORTE

LIANA DE HOLANDA VIANA BARROS

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRAS DE
VIDRO NA INDÚSTRIA DE PISCINAS**

NATAL
2019

LIANA DE HOLANDA VIANA BARROS

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRAS DE
VIDRO NA INDÚSTRIA DE PISCINAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento as exigências legais, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Dra. Renata Carla Tavares dos Santos Felipe

NATAL

2019

Barros, Liana de Holanda Viana.

B277r Reciclagem de resíduos de plástico reforçado com fibras de vidro na indústria de piscinas / Liana de Holanda Viana Barros. – Natal, 2019.

75 f : il. color.

Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

Orientador (a): Dra. Renata Carla Tavares dos Santos Felipe.

1. Resíduos sólidos. 2. Compósito polimérico. 3. Reciclagem de plástico – Fibras de vidro. 4. Plástico reforçado – Propriedades físicas e acadêmicas. I. Felipe, Renata Carla Tavares dos Santos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. III. Título.

CDU 502

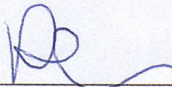
LIANA DE HOLANDA VIANA BARROS

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRAS DE
VIDRO NA INDÚSTRIA DE PISCINAS**

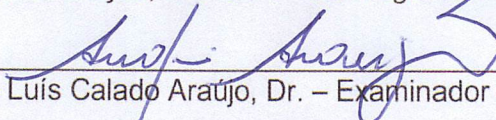
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento as exigências legais, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Dissertação apresentada e aprovada em 30/08/2019, pela seguinte Banca Examinadora:

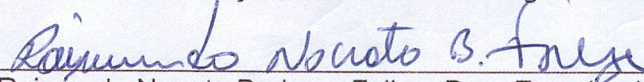
BANCA EXAMINADORA



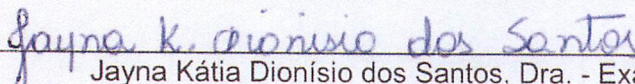
Renata Carla Tavares dos Santos Felipe, Dra. - Presidente
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



André Luís Calado Araújo, Dr. - Examinador Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Raimundo Nonato Barbosa Felipe, Dr. - Examinador Externo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Jayna Kátia Dionísio dos Santos, Dra. - Examinadora Externa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir o processo de conhecimento e experiência em minha vida, sou muito grata.

Ao meu pai Antonio Barros pelo incentivo e suporte em todos os momentos da minha vida e por me mostrar o quanto o estudo possibilita novos universos, sou muito grata.

À minha mãe Teresa por ter me alfabetizado e ter aberto as portas do aprendizado em minha vida, sou muito grata.

À minha irmã Luzileide pelo apoio, por compartilhar tantos aprendizados e pelo incentivo a sempre investir naquilo que de bom acredito, sou muito grata.

À minha irmã Luana agradeço ao apoio em todos os momentos e por ter compartilhado comigo parte da minha trajetória nos estudos, por me motivar, por ser tão companheira, sou muito grata.

Ao meu noivo David pelo apoio incondicional e por me incentivar a ser uma pessoa melhor, sou muito grata.

A minha orientadora, professora Dr^a. Renata Carla Tavares dos Santos Felipe, por durante todo o mestrado me apoiar e pela disponibilidade, pelo incentivo e por ser um exemplo de mulher forte que me inspira. Tenho aprendido muito com a senhora, sou muito grata.

Ao professor e amigo Neemias que tanto me ajudou nas etapas da pesquisa ao longo do mestrado e por me incentivar a sempre ir em busca dos meus objetivos, sou muito grata.

A Gabriel e Alisson pela ajuda na etapa da pesquisa experimental, a ajuda de vocês foi muita valiosa, sou muito grata.

Ao PPGURSN pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos e compartilhar ótimas e construtivas experiências, sou muito grata.

A tudo e todos que contribuíram direta e indiretamente para a chegada deste momento, sou muito grata.

RESUMO

A reciclagem de materiais compósitos tem sido um desafio na atualidade considerando a escolha do tipo de reciclagem empregada para essa categoria de material, já que em razão da composição de matriz e reforço há necessidade do emprego de tecnologias específicas. Nesse contexto está a reciclagem do compósito de plástico reforçado com fibras de vidro (PRFV), um material encontrado em diversos setores do mercado, inclusive no automotivo e na construção civil, por exemplo. O compósito em PRFV possui em sua composição uma matriz (resina termofixa) e um material de reforço (fibras de vidro). Uma problemática atualmente enfrentada diz respeito a geração de resíduos pós processo de fabricação dos PRFV e aos impactos advindos dessa geração. O objetivo do presente trabalho é reciclar o resíduo de plástico reforçado com fibras de vidro por meio de trituração e incorporação das partículas a uma matriz polimérica, a fim de produzir uma massa plástica para aplicação nas bordas de piscinas em uma indústria. Para a fabricação da massa plástica (novo compósito) foi considerada a relação matriz/reforço (MR) 20%, 30% e 40%. Foram fabricados corpos de provas (CP) para avaliação das propriedades físicas de densidade e umidade e a propriedade mecânica de flexão de acordo com as especificações constates nas normas da American Society for Testing and Materials (ASTM) D792, D5229 e D790, respectivamente. Esses testes permitiram identificar a viabilidade da alternativa para uso do resíduo em PRFV dentro do processo produtivo da empresa. Os resultados demonstraram que a incorporação de resíduos na matriz não conferiu um aumento na densidade do material em relação a resina pura. O compósito MR 20% foi o que apresentou menor densidade e capacidade de absorção de umidade, no entanto menor tensão de flexão dentre os compósitos contendo resíduos. Os compósitos MR 20 e 30 apresentaram os mesmos valores de densidade porém o de 40 foi um pouco maior, no entanto, considerando os desvios padrões as densidades foram as mesmas; no que se refere a absorção de umidade o MR 30 teve um percentual de absorção maior e no que se refere ao comportamento mecânico à flexão, o MR 40 apresentou uma maior resistência à flexão e rigidez.

Palavras-chave: Compósito polimérico. Reciclagem de PRFV. Propriedades físicas e mecânicas do PRFV.

ABSTRACT

Recycling of composite materials has been a challenge today considering the choice of the type of recycling employed for this material category, since due to the matrix composition and reinforcement there is a need for the use of specific technologies. In this context is the recycling of glass fiber reinforced plastic composite (GFRP), a material found in various market sectors, including automotive and construction, for example. The GFRP composite has in its composition a matrix (thermoset resin) and a reinforcement material (glass fibers). A problem currently facing concerns the generation of waste after the manufacturing process of the GFRP, thus generating an environmental aspect of waste disposal in industrial landfills or even untreated disposal. The objective of the present work is to recycle the glass fiber reinforced plastic waste by grinding and incorporating the particles into a polymeric matrix, in order to produce a plastic mass for application on the edges of swimming pools in an industry. For the production of plastic mass (new composite), the matrix / reinforcement ratio (MR) was considered 20%, 30% and 40%. Specimens (CP) were manufactured to evaluate the physical properties of density and humidity and the mechanical flexural property according to the specifications found in American Society for Testing and Materials (ASTM) D792, D5229 and D790, respectively. These tests allowed us to identify the viability of the alternative to use the waste in GFRP within the company's production process. The results showed that the incorporation of residues in the matrix did not increase the material density in relation to pure resin. The MR 20% composite presented the lowest density and moisture absorption capacity, but lower flexural stress among the composites containing residues. The composites MR 20 and 30 presented the same density values but the 40 composites were slightly higher, however, considering the standard deviations the densities were the same; With regard to moisture absorption the MR 30 had a higher absorption percentage and with respect to the flexural mechanical behavior, the MR 40 had a higher flexural strength and stiffness.

Keywords: Polymeric composite. GFRP recycling. Physical and mechanical properties of PRFV.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1	Matriz polimérica termoplástica	19
Quadro 2	Tipos de resinas poliéster insaturada	21
Quadro 3	Classificação do compósito de PRFV.....	56
Figura 1	Aplicações de materiais compósitos.....	15
Figura 2	Concreto (matriz cerâmica)	17
Figura 3	Biela feita de compósito metálico	18
Figura 4	Produtos confeccionados com termoplásticos	20
Figura 5	Compósitos de matriz polimérica termofixa.....	20
Figura 6	Resina poliéster insaturada: (a) bancos de estádio (b) bolas de bilhar	22
Figura 7	(a) Tecido unidirecional. (b) Tecido multiaxial de fibra de vidro.....	24
Figura 8	Barco confeccionado com fibra de vidro.....	25
Figura 9	Manta de fibra de carbono.....	26
Figura 10	Fibra de Kevlar na fabricação de colete à prova de balas.....	27
Figura 11	Etapas de fabricação dos compósitos poliméricos	28
Figura 12	Técnica de handlay-up	30
Figura 13	Resíduos em PRFV numa indústria de piscinas	31
Figura 14	Caracterização e classificação de resíduos	33
Figura 15	Metodologia do estudo	40
Figura 16	Resíduo na fabricação de piscinas, presente nas bordas do equipamento e no piso da indústria	41
Figura 17	(a) Resíduo de PRVF (b) Moinho de facas.....	42
Figura 18	(a) bandeja do moinho de facas (b) rotor de facas e câmara de moagem	42
Figura 19	Resíduo em PRFV antes e após moagem.	43
Figura 20	(a) Resíduo moído; (b). Peneiramento; (c) Sobra de resíduo retido na primeira peneira; (d) Resíduos peneirados em suas respectivas granulometrias.....	43
Figura 21	Aferição da massa do resíduo em PRFV	45
Figura 22	Preparo do molde. (a) Superfície da placa com desmoldante e (b) medição das dimensões	45

Figura 23	Massa plástica - Concentração de 20%. (a) Resina e resíduo em PRFV. (b) Junção dos componentes. (b) Adição da solução catalizadora. (c) Textura da massa plástica de 20%.....	46
Figura 24	Massa plástica com concentração de 30%	47
Figura 25	Massa plástica com concentração de 40%	47
Figura 26	Placa de massas plásticas nas concentrações de 20% e 30% (a), (b), (c) e (d) e na concentração de 40% (e), (f).....	48
Figura 27	Processo de confecção dos corpos de prova: (a) corte dos corpos de prova, (b) lixamento dos corpos de prova e (c) corpos de prova para os três ensaios.	49
Figura 28	Balança digital modelo FA 2104N	50
Figura 29	Ambiente de exposição dos CP: água destilada. Corpos de prova de resina, 20%, 30% e 40%	51
Figura 30	Máquina de ensaio universal mecânico, com garras para o ensaio de flexão em três pontos	52
Figura 31	Microscópio eletrônico de varredura.....	54
Figura 32	Curvas de tensão vs. deflexão dos ensaios de flexão de compósitos de matriz poliéster reforçados com diferentes frações de PRFV (a) 20%, (b) 30% e (c) 40%.....	60
Figura 33	Característica da fratura final do compósito MR 20%.....	62
Figura 34	Característica da fratura final do compósito MR 30%.....	63
Figura 35	Concentração de resíduo no compósito MR 30%.	63
Figura 36	Característica da fratura final do compósito MR 40%.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição do vidro tipo E (elétrico) utilizado para a fabricação da manta de fibras de vidro.....	23
Tabela 2	Composição de fibras de vidro utilizadas na fabricação de compósitos...24	
Tabela 3	Propriedades dos tipos de fibras de vidro utilizada como reforço	25
Tabela 4	Composição química do resíduo de PRFV.....	31
Tabela 5	Proporção de resíduo e resina para fabricação das placas.....	44
Tabela 6	Composição química do resíduo de PRFV.....	55
Tabela 7	Densidade do compósito	57
Tabela 8	Umidade do compósito.....	57
Tabela 9	Propriedades de flexão em três pontos do compósito para a resina poliéster.....	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	MATERIAIS COMPÓSITOS.....	14
3.1.1	Tipos de matrizes	16
3.1.1.1	Matriz cerâmica	16
3.1.1.2	Matriz metálica	17
3.1.1.3	Matriz polimérica	18
3.1.2	Tipos de reforço	22
3.1.2.1	Fibras de vidro.....	22
3.1.2.1.1	<i>Fibras de vidro E</i>	23
3.1.2.1.2	<i>Fibras de Vidro S, C e AR</i>	24
3.1.2.2	Fibras de carbono.....	26
3.1.2.3	Fibras de aramida (Kevlar)	26
3.2	COMPÓSITO DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRAS DE VIDRO..	27
3.2.1	Processo de fabricação	27
3.2.1.1	Laminação manual	29
3.3	RESÍDUOS DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO	30
3.4	LEGISLAÇÃO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	32
3.5	RECICLAGEM DE MATERIAIS EM PRFV E LOGÍSTICA REVERSA	34
3.5.1	Reciclagem mecânica de resíduos de PRFV através de incorporação em matrizes	36
4	METODOLOGIA	40
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	41
4.2	FABRICAÇÃO DO COMPÓSITO (MASSA PLÁSTICA) COM RESÍDUO DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV)	41
4.2.1	Compósito com resíduo de 20%, 30% e 40%	46
4.3	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	48
4.4	ENSAIOS	49
4.4.1	Densidade volumétrica da massa plástica (MP)	49

4.1.2	Absorção de umidade	50
4.1.4	Desempenho mecânico do PRFV	52
4.1.4.1	Flexão em três pontos	52
4.1.3	Avaliação morfológica do PRFV – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	54
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1	COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PRFV	55
5.3	DENSIDADE	57
5.4	UMIDADE	57
5.5	ENSAIO DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS	58
5.6	AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA DO PRFV	61
6	CONCLUSÃO	65
7	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem de materiais tem se tornado uma das mais importantes atividades de controle ambiental, minimizando a extração de matéria-prima virgem e contribuindo para o desenvolvimento tecnológico. De acordo com Kemerich et al. (2013) do quantitativo total gerado de resíduos sólidos no Brasil cerca de 50% da composição em aterros sanitários são de resíduos oriundos do comércio e de indústrias.

Em meio a composição de resíduos em aterros estão os materiais plásticos que aparecem como grandes precursores de diversas problemáticas, por comporem uma parcela significativa dos resíduos sólidos gerados e se apresentarem em diferentes tipos, dificultando desse modo a separação adequada de componentes para reciclagem. Dentre as diversas categorias de plásticos utilizados, os dados disponíveis pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – Abrelpe em um último panorama realizado em 2016, indicam que a reciclagem de PET, por exemplo, diminuiu em 2015 com um índice de 51%.

Os polímeros podem ser classificados em termoplásticos ou termofixos, sendo termoplásticos moldados a partir da utilização de uma dada temperatura podendo ser recicláveis, enquanto que os termofixos ao contrário, não fundem com o aquecimento quando expostos a uma determinada temperatura, pois se decompõem, não podendo desse modo ser reciclados, essa condição é dada em razão da maior complexidade em sua formação química (SHUAIB; MATIVENGA, 2016). Isso acontece no caso do plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) quando utilizado na sua composição resina termofixa, já que é um material fabricado a partir de uma matriz polimérica e um reforço em fibra de vidro, conhecido assim como material compósito, formado por meio da junção de materiais de naturezas diferentes com a finalidade de se obter um produto de maior qualidade, fixando novas propriedades aos materiais (LEVY NETO; PARDINI, 2016).

Segundo dados da Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos (Almaco) no ano de 2012 o Brasil gerou 20.000 toneladas de resíduos de materiais compósitos com custo de descarte de, aproximadamente, R\$ 130 milhões (LIMA, 2013). Custos esses advindos da disposição dos resíduos em aterros industriais, o que configura um aspecto ambiental preocupante que incide a inúmeros impactos ao meio ambiente dentre os quais está a redução da vida útil desses espaços.

Considerando a política nacional de resíduos sólidos representada por meio da lei 12.305, de agosto de 2010, com o estabelecimento da logística reversa e sob o viés da responsabilidade compartilhada sob a produção e consumo de produtos, se faz premente a necessidade de considerar alternativas para aproveitamento dos resíduos gerados da indústria de plástico reforçado considerando fatores de minimização de desperdícios e com vistas a garantia dos preceitos do saneamento ambiental no controle da disposição de resíduos em aterros e da reinserção de resíduos industriais em outros ou no próprio processo produtivo de materiais.

Em visitação à uma empresa que fabrica piscinas foi observada a geração de resíduos de PRFV estimada em cerca de 3 toneladas por mês a um custo de descarte de R\$ 400,00 (quatrocentos reais), tudo isso sendo enviado para um aterro industrial, ocasionando dessa forma um problema ambiental pois a resina é considerada como um material combustível.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi reciclar resíduos de plástico reforçado com fibras de vidro mediante o processo de trituração e como produto, a fabricação de uma massa plástica, sendo inseridos 20%, 30% e 40% de resíduo moído de PRFV com relação ao peso de resina com vistas a aplicação no suporte das bordas de piscinas. A relação nas três porcentagens citadas anteriormente foi considerada para identificar a que confere uma melhor propriedade física e mecânica ao material. A etapa experimental correspondeu a coleta, trituração e seleção do resíduo sendo fabricados corpos de provas com uso desse resíduo e resina polimérica do tipo poliéster. Para caracterização do comportamento mecânico, foi realizado o ensaio de flexão em três pontos e para a caracterização das propriedades físicas, os ensaios de densidade e umidade conforme as normas D790-10, D792, D5229, respectivamente. Esses testes permitiram identificar a viabilidade da alternativa para uso do resíduo em PRFV dentro do processo produtivo da empresa.

O produto final do presente trabalho é uma massa plástica utilizada como material de reforço em piscinas. O apêndice A detalha as aplicações, impacto do produto, desenvolvimento, objetivos/finalidade e aplicabilidade.

2 OBJETIVOS

Abaixo serão apresentados o objetivo geral e específicos deste trabalho.

2.1 OBJETIVO GERAL

Reciclar resíduos de plástico reforçado com fibra de vidro mediante trituração e como produto, a fabricação de uma massa plástica para uso como material de preenchimento nas bordas de piscinas em uma indústria.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Classificar o resíduo de plástico reforçado com fibras de vidro quanto à norma NBR 10.004/2004;
- Identificar a composição do resíduo de plástico reforçado com fibras de vidro (PRFV) na indústria;
- Determinar as propriedades físicas, a absorção de umidade e o comportamento mecânico, quando inseridos 20%, 30% e 40% de resíduo moído de PRFV com relação ao peso de resina para fabricação de da massa plástica.
- Identificar o tipo de fratura do material após a realização do ensaio de flexão em três pontos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, são apresentados e discutidos os conceitos teoricamente fundamentais à realização do presente estudo. Desse modo, conceitos relativos a materiais compósitos, tipos de matrizes com ênfase à matriz polimérica, tipos de materiais de reforço, compósito de plástico reforçado com fibras de vidro (PRFV), resíduos de PRFV, legislação para resíduos sólidos industriais, reciclagem de materiais em PRFV e logística reversa e reciclagem mecânica de resíduos de PRFV através da incorporação em matrizes podem ser vistos.

3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

O termo compósito provém da palavra composto, que se refere a junção de diferentes elementos (ATKINS; JONES, 2012). Um compósito pode ser definido como uma mistura de dois ou mais materiais constituintes ou de fases distintas, que compõem uma categoria de materiais heterogêneos, multifásicos, de matriz polimérica ou não, em que um dos componentes, contínuo, é o meio de transferência desse esforço (componente matricial - matriz) e o outro, descontínuo, dá a principal resistência ao esforço (componente estrutural - reforço) (HULL, 1996).

A *American Society for Testing and Materials* - ASTM D3878 (2015), conceitua compósito como um material constituído de dois ou mais componentes, não solúveis entre si, que quando combinados formam um novo material útil com propriedades diferentes das encontradas nos componentes individualmente.

Pardini (2016) conceitua compósitos como materiais que são resultantes da combinação de dois ou mais componentes em que as propriedades são diferentes das apresentadas por esses individualmente.

De acordo com Macedo Neto (2016), compósitos são materiais formados a partir da junção de um reforço a uma matriz, sendo, portanto, a função do reforço garantir as propriedades de dureza, resistência à tração, tenacidade e rigidez. A matriz por sua vez, contribui na manutenção das fibras/partículas/estruturas na orientação apropriada, na transferência e distribuição das tensões e permite a proteção contra abrasão e intempéries.

Os componentes dos compósitos podem ser diferenciados em escala macroscópica, essa condição os faz, por exemplo, diferentes das ligas, que são

junções de materiais diferentes, em escala atômica, ou seja, ocorrem ligações químicas do tipo metálica oriundas da interação entre dois ou mais metais, sendo observadas até entre não metais e metais. Nos materiais compósitos, a escala de dimensões das interações é da ordem de um micrometro ou maior (DOMINGOS, 2017).

Inovações tecnológicas presentes em diferentes segmentos das indústrias automobilística, construção civil, energia eólica, de artigos esportivos, entre outras, são possíveis em razão do aparecimento de materiais compósitos. O uso dessa categoria de material é amplamente difundida em diversos setores e se apresenta desde polímeros reforçados com fibras, materiais híbridos metal/compósito e concretos estruturais, além de compósitos de matriz metálica e matriz cerâmica. Sendo desse modo, a característica básica de um material compósito agregar, pelo menos, duas fases distintas de componentes denominados de matriz e reforço. (LEVY NETO; PARDINI, 2016). Na figura 1 é possível observar a aplicação de materiais compósitos em diversos segmentos: órtese, pás eólicas, carcaças de aeronaves e automóveis, são alguns exemplos.

Figura 1 - Aplicações de materiais compósitos



Fonte: Esss (2015).

As tecnologias de ponta comumente associadas aos materiais compósitos na atualidade nada mais são que a representação de estruturas já observadas no meio

natural e remontam a antiguidade como no exemplo no caso da madeira, ossos e tecidos musculares. (HULL, 1996).

O aparecimento de novas categorias de materiais que visam oferecer um desempenho mecânico satisfatório por meio de tecnologias atuais aliado à inovação em processos, além de visar a redução de custos inerentes à produção, incentivam a diminuição de aspectos e impactos ambientais, o que vem sendo estimulado na atualidade (FELIPE, 2012; RODA, 2016).

A utilização de materiais compósitos se insere na categoria de novos tipos de materiais em substituição aos convencionais comumente utilizados, como metais, madeira, aço, entre outros, que embora recorrentes no uso, por vezes não atendem as necessidades previstas, seja por fatores de custo ou facilidade de processos, o que sugere a utilização de novas alternativas. (LEVY NETO; PARDINI, 2016).

3.1.1 Tipos de matrizes

A matriz de um material compósito é conhecida como a fase continua de sua composição e, em linhas gerais, tem como função proteger o material de reforço do ambiente externo, reduzindo o contato das partículas com meios nocivos a qualidade do material, manter o material de reforço agrupado e auxiliar na transferência de tensão para o reforço, podem ser de origem cerâmica, metálica ou polimérica. (MACEDO NETO, 2016).

3.1.1.1 Matriz cerâmica

A utilização de materiais com matriz cerâmica é apontada desde a antiguidade e ainda está presente na fabricação de certos tipos de materiais atuais, contudo comparado aos outros dois tipos de matrizes (metálica e polimérica), vem sendo menos utilizada, dentre algumas razões em decorrência da fragilidade que apresentam a temperatura ambiente quando submetidos a algum tipo de impacto ou outra demanda mecânica, a sensibilidade elevada a choques térmicos e a baixa condutibilidade térmica. (Damasceno, et al. 2011)

É considerado um material resistente à ações de oxidação e se na etapa de fabricação de materiais forem aquecidos de modo adequado, compósitos de matriz cerâmica não apresentam os problemas citados anteriormente e podem apresentar

ductilidade e serem plausíveis se deformando plasticamente. O compósito de matriz cerâmica mais comumente utilizado é o concreto usado na construção civil onde se tem uma matriz de silicato reforçada por partículas (pedras) e/ou fibras metálicas (vergalhão) (MOURISCO, 1995). Na figura 2 está representado o concreto, um tipo de matriz cerâmica.

Figura 2 - Concreto (matriz cerâmica)



Fonte: Patentesonline (2011).

3.1.1.2 Matriz metálica

O compósito de matriz metálica (CMM), é resultante da junção de pelo menos dois componentes: um sendo por exigência a matriz metálica e o segundo o reforço (podendo ser um óxido, um componente intermetálico, um carboneto ou um nitreto, ou algum outro metal). (SOUSA, 2012). Ainda de acordo com Sousa (2012), os CMM, especificamente os de Alumínio (Al) e suas ligas, atualmente representam uma destacada parcela do mercado de compósitos de matriz metálica. As ligas de alumínio possuem, além do metal base, outros elementos, considerados como componentes de liga ou como impurezas. Na figura 3 está representada um exemplo de matriz metálica.

Figura 3 - Biela feita de compósito metálico



Fonte: MX composites (2016).

3.1.1.3 Matriz polimérica

Uma categoria de compósitos que tem encontrado inúmeras aplicações no mercado são os compósitos de matriz polimérica. O polímero constitui a fase contínua, podendo ser termoplástico ou termorrígido (SHUAIB; MATIVENGA, 2016).

As propriedades físicas, mecânicas e térmicas exigidas para uma determinada aplicação é fator interveniente na escolha da matriz polimérica, além do processo de fabricação escolhido e do custo associado. A matriz tem a função de manter a conformidade estrutural do compósito através da ligação concomitante à fase dispersa, em razão de suas características coesivas e adesivas. Uma outra função atribuída à matriz é a de transferir o esforço para a fase dispersa e protegê-la contra ataques do ambiente. A configuração geométrica da fase descontínua é um dos principais parâmetros a se considerar, visto que as propriedades mecânicas destes materiais estão atreladas a forma e as dimensões do reforço (SENTHILKUMAR, 2018; FELIPE, 2019).

Compósitos poliméricos são materiais constituídos por uma matriz polimérica e um reforço, sendo existentes diversas opções de materiais para reforço considerando o uso previsto. São subdivididos em termoplásticos e termorrígidos (termofixos), o primeiro é caracterizado como um plástico que em determinada temperatura, apresenta alta viscosidade podendo ser moldado. Já o segundo, os termofixos ou termoestáveis são mais estáveis quando expostos a temperaturas elevadas em razão da maior complexidade em sua formação química com ligações cruzadas e não fundem com o aquecimento. Por serem intensamente rígidos, são

frágeis, por essa razão, em alguns casos são utilizados materiais de reforço como cargas e/ou fibras (RIBEIRO, 2015).

No quadro 1 estão as subdivisões dos compósitos de matriz polimérica para termoplásticos e aplicações.

Quadro 1 - Matriz polimérica termoplástica

TERMOPLÁSTICOS		
Sigla	Nomenclatura	Aplicações
PET	Poliéster saturado	Embalagens, carpetes, monofilamento etc.
PVC	Policloreto de Viníla	Tubos, Isolação de cabos elétricos, filmes de revestimento
PE	Polietileno	Filmes para Embalagens, artigos domésticos.
PP	Polipropileno	Filmes para Embalagens, artigos domésticos, indústria automobilística.
ABS	Acrilo Butadieno Estireno	eletrodomésticos, indústria automobilística
PMMA	Polimetil metacrilato ou Acrílico	Polímero cristalino usado em várias aplicações
PC	Policarbonato	Vidros blindados, Faróis de automóveis, indústria aeronáutica.
PA	Poliâmidas "Nylon"	Plástico de engenharia – Alta resistência mecânica e a temperatura.
POM	Poliacetal "Delrin"	Plástico de engenharia – características lubrificantes
PTFE	Politetrafluoretileno "Teflon"	Baixas características mecânicas, elevada resistência térmica e características lubrificantes.

Fonte: Adaptado de CRQ (2013).

Os termoplásticos estão presentes em uma infinidade de produtos na indústria como na produção de garrafas plásticas e diversos acessórios como talheres, recipientes, brinquedos entre outros, como mostrado na figura 4.

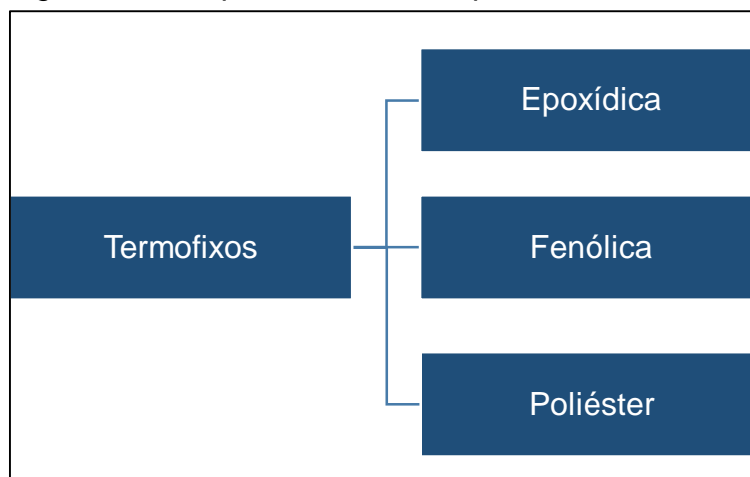
Figura 4 - Produtos confeccionados com termoplásticos



Fonte: Fer-plastic (2016).

Assim como para os termoplásticos, os polímeros termofixos também são divididos em classificações, como mostrado na figura 5.

Figura 5 - Compósitos de matriz polimérica termofixa



Fonte: Adaptado de BRUNELLI (2019).

A resina de poliéster insaturado é a mais utilizada para fabricação de materiais compósitos poliméricos em razão da facilidade de processamento e por apresentar um baixo custo. (BAJRACHARYA, 2014). No entanto, a escolha do tipo de resina está sujeito ao tipo de peça que será fabricada e de uma gama de outros fatores, como a resistência térmica, química e mecânica que a superfície deverá apresentar. É considerado ainda na escolha do tipo de resina o teor de viscosidade (facilidade de impregnação nas fibras de vidro) e à tixotropia (capacidade de não escorrer em superfícies verticais ou inclinadas) da resina, pois esses elementos afetarão o processo de fabricação. (FELIPE 2019; SERCEL, 2019).

Ainda de acordo com Sercel (2019) os tipos de resina poliéster encontradas no mercado são classificadas de acordo como mostrado no quadro 2.

Quadro 2 - Tipos de resinas poliéster insaturada

RESINAS POLIÉSTER	
Ortoftálica	A mais comum e também com menor custo. Apresenta baixa resistência térmica, química e à hidrólise e é utilizada em aplicações gerais.
Tereftálica	Possui uma resistência física um pouco superior à da ortoftálica. Porém, apresenta uma baixa resistência a raios UV (Ultravioleta) e tem coloração alterada com facilidade (amarelamento).
Isoftálica	Apresenta características térmicas, químicas e mecânicas melhores do que as resinas ortoftálica e tereftálica e confere uma maior resistência mecânica à peça
Bisfenólica	Possui resistências térmicas e química elevadas. Utilizada principalmente em revestimentos anticorrosivos, em peças como tanques, tubos, conexões, etc;
Ester-vinílicas	Apresenta uma maior resistência aos meios alcalinos e é utilizada na fabricação de peças que ficarão expostas a ambientes altamente agressivos.

Fonte: Sercel (2019).

A utilização da resina termofixa é observada na fabricação de acessórios, equipamentos e os mais variados itens presentes nas industriais. A figura 6 ilustra

alguns exemplos da aplicação da resina poliéster instaurada na confecção de produtos.

Figura 6 - Resina poliéster insaturada: (a) bancos de estádio (b) bolas de bilhar



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2019).

3.1.2 Tipos de reforço

São diversos os tipos de reforços utilizados na indústria de materiais compósitos, dentre eles estão as fibras de vidro em seus tipos, fibras de carbono e fibras de aramida (Kevlar), essas três categorias, com ênfase nas fibras de vidro (objeto deste trabalho) estão descritas nos tópicos seguintes:

3.1.2.1 Fibras de vidro

O vidro ainda em forma líquida possuindo uma alta temperatura é a base para a fabricação das fibras de vidro, sendo submetido a um resfriamento a alta velocidade. Por meio do controle de temperatura e velocidade de escoamento do vidro nas de placas de platina surgem vários tipos de filamentos com diâmetros variados. (NASSEH, 2007).

Ainda segundo (NASSEH, 2007), os filamentos são tratados para aprimorar a sua adesão e resistência à abrasão e umidade. Composições químicas variadas são utilizadas na produção, cada uma delas apresentando diferentes propriedades químicas e mecânicas sendo denominadas por uma letra do alfabeto.

3.1.2.1.1 Fibras de vidro E

Materiais vítreos são aqueles materiais líquidos, que durante o processo de resfriamento (arrefecimento), sofrem solidificação organizando-se em unidades ou retículos cristalinos. A organização dessas unidades básicas é dificultada pela alta viscosidade e conseqüentemente a imobilidade dos átomos constituintes dos vidros fundidos, durante o processo de arrefecimento (BIEK; BAYLEY, 2010).

A constituição das fibras de vidro, utilizadas como agente de reforço em matrizes poliméricas, contém sílica como constituinte principal, boro (Bo) como agente fluidizante e óxidos modificadores, agindo como alumínio (Al) e Cálcio (Ca) (PINHEIRO, 2008). A classificação para esse tipo de vidro é alumínio-boro silicato, é conhecido também como vidro do tipo E, o qual também apresenta boas propriedades elétricas (Tabela 1). O vidro, sob a forma fibrosa, possui alta resistência à tração.

Tabela 1 - Composição do vidro tipo E (elétrico) utilizado para a fabricação da manta de fibras de vidro.

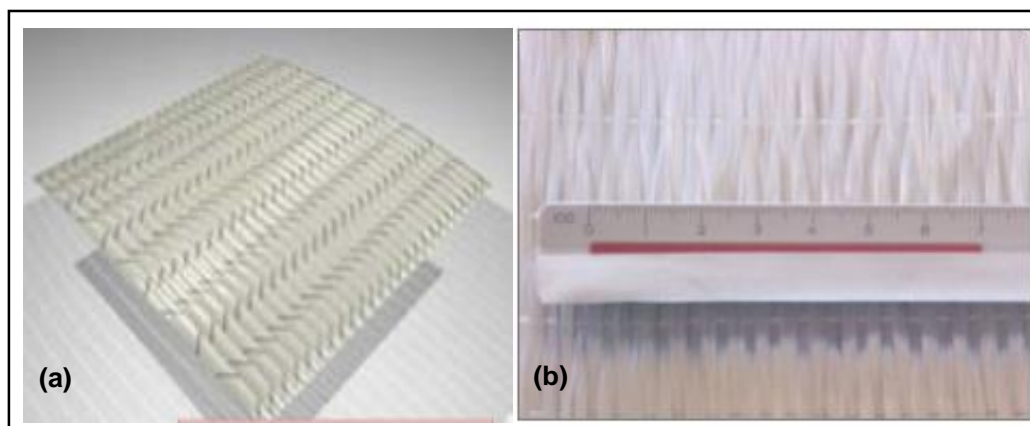
Componentes químicos do vidro tipo E	%
SiO ₂	52,4
Al ₂ O ₃	14,4
CaO	17,2
MgO	4,6
Na ₂ O	0,8
Bo ₂ O ₃	10,6

Fonte: Pinheiro (2008).

Segundo Mohamad et al. (2011), as fibras de vidro na forma de tecidos unidirecionais, são as mais utilizadas para reforço e recuperação de estruturas. Em meio aos tipos de tecidos, os multiaxiais, desenvolvidos pela sobreposição de fibras unidirecionais unidas por uma costura de fio poliéster, são os que apresentam melhores condições para manuseio, além de possuírem propriedades mecânicas altamente satisfatórias, podendo ser obtido em diferentes comprimentos, possibilitando a execução do reforço sem o uso de emendas, com aplicação de

contornos variados e até complexos (FIORELLI, 2002; MOHAMAD, 2011). A figura 7 (a) ilustra o tecido unidirecional e na (b) o tecido multiaxial de fibra de vidro.

Figura 7 - (a) Tecido unidirecional. (b) Tecido multiaxial de fibra de vidro.



Fonte: Barracudascomposites (2012); FIORELLI (2002).

De acordo com Bajracharya et al. (2014), as fibras de vidro são as mais utilizadas para o reforço de plásticos devido a características como específicas como propriedades mecânicas elevadas; baixo coeficiente de dilatação térmica; facilidade de uso e baixo custo.

3.1.2.1.2 Fibras de Vidro S, C e AR

A fibra de vidro do tipo S (*S-glass – strength*) ou tipo R, é formulada de acordo com o sistema dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de magnésio (MgO), o que pode conferir um aumento nas propriedades mecânicas quando comparada a fibras do tipo E. (KEMERICH, 2013). A composição típica para fibras de vidro estão representadas na tabela 2.

Tabela 2 - Composição de fibras de vidro utilizadas na fabricação de compósitos

Constituintes	SiO_2	Al_2O_3	B_2O_3	MgO	CaO	Na_2O
Vidro E	55,2	14,8	7,3	3,3	18,7	-
Vidro C	65	4	5	3	14	8,5
Vidro S	65	25	-	10	-	-

Fonte: Levi Neto; Pardini (2016).

As propriedades da fibra podem ser alteradas significativamente pela composição do vidro como mostrado na tabela 3. As fibras de vidro pertencentes ao tipo S apresentam dificuldade no processo de estiramento, visto que possuem uma limitação na faixa de temperatura pra formação do filamento e, por essa razão, apresentam maior custo em relação as fibras tipo E. (LEVI NETO; PARDINI, 2016).

Tabela 3 - Propriedades dos tipos de fibras de vidro utilizada como reforço

Tipos de fibras	Vidro E	Vidro S
Massa específica (g/cm³)	2,54	2,55
Módulo de elasticidade (GPa)	70	86
Resistência a tração (GPa)	2,40	2,80
Módulo específico (Mm)	27	34
Preço (USD) /kg	1,57 – 2,09	12,35 - 16,63
Preço (USD) /kg tecido	9,50 – 19,00	19,00 – 38,00

Fonte: Adaptado de Levi Neto; Pardini (2016).

De acordo com Levi Neto; Pardini (2016) as fibras do tipo C são utilizadas na forma de véu e funcionam como barreiras químicas em reservatórios e equipamentos químicos, e as fibras de vidro AR que contem em sua composição Zircônio (ZrO₂) e óxido de sódio (Na₂O) são utilizadas como material de reforço em cimentos, já que oferecem maior resistência a corrosão oriunda da alcalinidade do cimento, e tem ganho destaque crescente no uso.

São fabricados na indústria diversos tipos de produtos contendo fibras de vidro, como por exemplo, na produção de barcos como mostrado na figura 8.

Figura 8 - Barco confeccionado em compósito reforçado com fibra de vidro



Fonte: Fibra náutica (2019).

3.1.2.2 Fibras de carbono

De acordo com Marinucci (2011) as fibras provenientes do carbono resultam da pirólise controlada de meios orgânicos em forma de fibras. O processo de pirólise para a manufatura das fibras corresponde a combustão e conseqüente retirada de oxigênio, nitrogênio e hidrogênio para a posterior formação das fibras de carbono (LEVY NETO; PARDINI, 2016). Possuem baixa massa específica, alto módulo de elasticidade, alta resistência à umidade e a muitos ácidos e solventes, em contrapartida possuem alto custo de aquisição. (MARINUCCI, 2011). Uma manta de fibra de carbono e uma aplicação em um automóvel está representada na figura 9.

Figura 9 - Manta de fibra de carbono

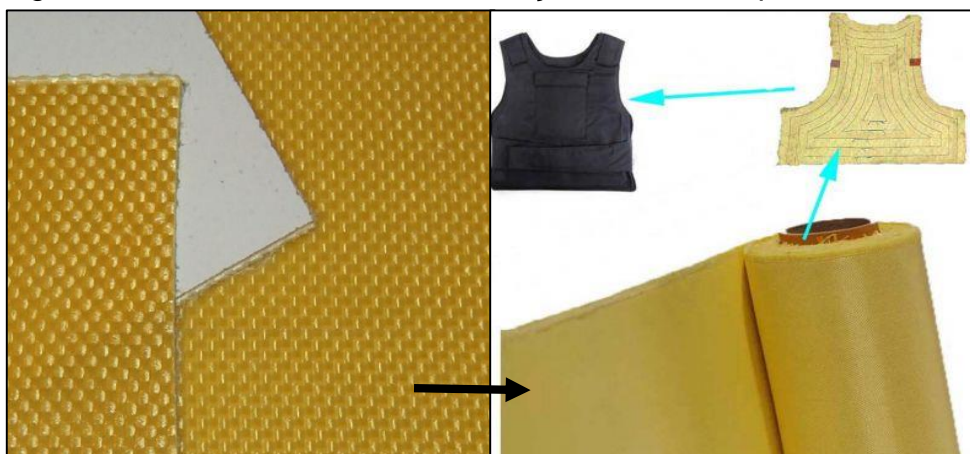


Fonte: Advanced Vacuum Composites (2019).

3.1.2.3 Fibras de aramida (Kevlar)

As fibras de aramida são uma classe de fibras de alta resistência térmica e mecânica, possuem baixa massa específica, alta tenacidade e ductilidade. São utilizadas para aplicações balísticas em coletes e na fabricação de peças de compósitos, em aplicações aeroespaciais e militares, em rodas de bicicleta, entre outros. (BRUNELLI, 2019). Na figura 10 está representada uma manta de kevlar e um colete fabricado com uso dessa fibra.

Figura 10 - Fibra de Kevlar na fabricação de colete à prova de balas



Fonte: Brunelli; Adesivisicurezza (2019).

3.2 COMPÓSITO DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRAS DE VIDRO

A combinação de um reforço (fibra de vidro) a uma matriz polimérica (resina poliéster ou outro tipo de resina) e a uma substância catalisadora de polimerização forma o compósito denominado Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), cujo processo possibilita a fabricação de peças com uma grande variedade de formatos e tamanhos: piscinas; caixas d'água; carroçarias de veículos e outros (KEMERICH, 2013).

3.2.1 Processo de fabricação

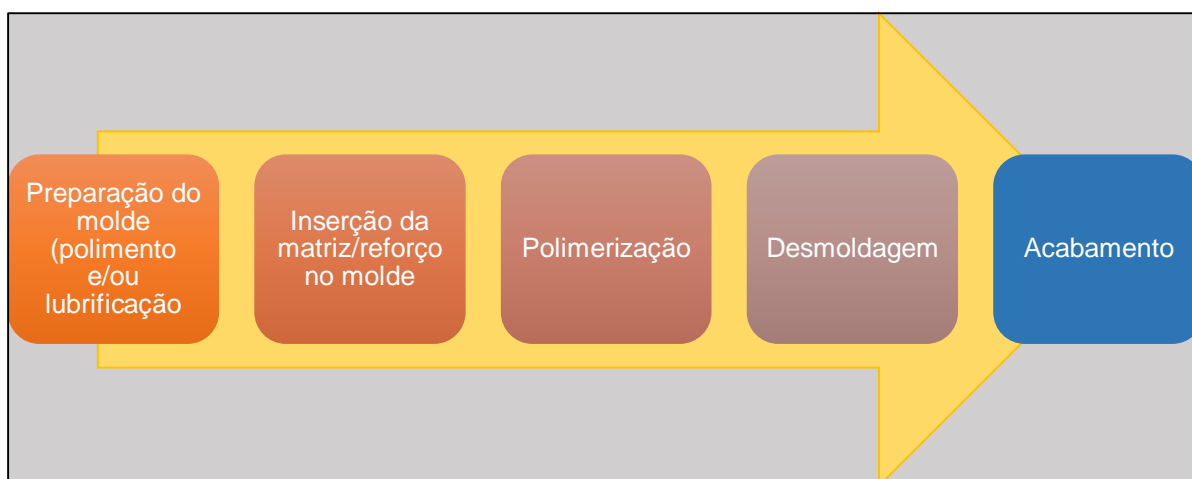
A formação do plástico reforçado com fibras de vidro ocorre mediante a junção de fibras de vidros que se apresentam em diferentes formas como: fios contínuos (roving), mantas (formadas com fibras de vidro cortadas), tecido (resultantes do processamento de roving) ou moídas. (KEMERICH, 2013). As fibras de vidro são o reforço da resina polimérica utilizada (poliéster, vinílicas, epóxis, entre outras) e conferem ao material aumento das propriedades mecânicas quanto ao impacto e ao módulo de elasticidade, por exemplo. (FARINHA, 2018).

A incorporação da fibra à resina acontece enquanto a matriz está líquida, prontamente em seguida à adição da solução catalisadora, resultando na polimerização e a cura do material. Desse modo, a junção da fibra de vidro com a resina, demanda de três etapas básicas independente da escolha de qual processo será utilizado: impregnação da fibra na resina, adaptação do material à forma final

desejada (molde) e endurecimento do material (processo de cura) como detalhado na figura 11. (ORTH, 2012).

Segundo Felipe, (2012) alguns dos processos de fabricação de um material envolvendo o uso de resina termofixa são: laminação manual, moldagem por laminação a pistola (*spray up*), moldagem à vácuo, pultrusão entre outros.

Figura 11 - Etapas de fabricação dos compósitos poliméricos



Fonte: Felipe (2012).

De acordo com Orth (2014), A fabricação de PRFV pode ser agrupada em dois segmentos os quais são por meio de moldagem aberta ou moldagem fechada. A primeira maneira corresponde a utilização de técnica *spray-up* e/ou *hand lay-up*, somente uma das vistas da peça fica em contato com o molde. Já os processos com uso de moldes fechados (*Resin Transfer Molding – RTM*, *Sheet Molding Compound – SMC* e *Bulk Molding Compound - BMC*) utilizam dois moldes com encaixe. A técnica de *hand lay up/spray-up* são os processos de fabricação de compósitos mais simples e mais antigos aplicados em indústrias no mundo. Em meio as razões para essa aplicabilidade frequente está a facilidade de manuseio na moldagem aberta, por não requerer investimentos dispendiosos e nem conhecimentos técnicos avançados (MANIRUZZAMAN; MORSHED, 2014).

O material compósito de plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) possui uma excelente estabilidade dimensional em favor da sua natureza hidrofóbica, ou seja, condição de um material ou substância que não absorve ou não se mistura com a água (SENTHILKUMAR, 2018).

3.2.1.1 Laminação manual

É uma técnica também conhecida como *handlay-up* que consiste inicialmente no uso de desmoldantes ou gel *coating* na superfície de confecção do material, podendo ser usado produtos como cera de carnaúba ou solução de álcool polivinílico, por exemplo. Sequencialmente a essa etapa ocorre a utilização de resina e material de reforço aplicados de maneira alternada, além de um agente endurecedor para a resina e a etapa final correspondendo ao desmolde do material após o tempo de endurecimento (cura). Na figura 12 está representado de maneira simplificada como acontece a laminação manual. É um processo que ocorre à temperatura ambiente contando com apoio de rolos e/ou pinças com vistas a compactação do material de reforço e a retirada de bolhas. Na etapa de desmolde do compósito, por vezes, há necessidade de retoques para melhora da estrutura do material final. (FELIPE, 2012). É uma técnica amplamente utilizada na fabricação de plástico reforçado com fibra de vidro.

Na utilização da técnica de impregnação manual é sugerido que as fibras sejam devidamente pesadas e obtendo-se o valor da sua densidade, seja calculado o seu volume. E, tendo em vista minimizar possíveis desperdícios de resina, o volume da matriz (resina + catalisador) a ser preparado deve ser cerca de três vezes maior que as fibras. Dessa maneira, tendo o valor da densidade da resina, calcula-se o peso da resina que deve ser preparada. O peso do material pronto subtraindo o de fibras fornece o peso da resina que permanece no compósito. (LEVI NETO; PARDINI, 2016)

Segundo Felipe (2017), o processo *hand lay-up* apresenta como vantagens um baixo custo para montagem do processo, além de não ser necessário mão de obra especializada para confecção e a possibilidade de moldagem de materiais como reservatórios em geral. Em contrapartida, como desvantagens necessita de muita mão de obra, comprometimento da uniformidade na espessura do material, baixo volume em escala de produção, qualidade do material de acordo com quem confecciona o produto, e alto teor de desperdícios.

Figura 12 - Técnica de handlay-up



Fonte: Anceltecnologiaemcompósitos (2019).

3.3 RESÍDUOS DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO

Resíduos de PRFV tem sido estudado por diversos autores como encontrado em publicações internacionais de Castro (2014), Bajracharya et al. (2014), Ribeiro (2015), Dehghan (2017) que explanam sobre a potencialidade da utilização de resíduos de PRFV em termos estruturais e como alternativa para minimização de custos advindos da extração de matéria virgem e diante dos impactos da geração de grandes volumes de resíduo em aterros industriais.

A preocupação com as questões ambientais sobre a geração de resíduos de origem industrial tem estimulado a produção de estudos no Brasil como em Lorena, (2017) e Brainer (2017) que demonstram em diferentes tipos de indústria o direcionamento de resíduos ao meio ambiente ao fim de vida.

Outros estudos como o de Kemerich et al. (2013), Orth et al. (2014), Venzon (2018), tratam especificamente da relação entre geração de resíduo em PRFV e o reaproveitamento industrial por meio da logística reversa e relevam que a preocupação com essa temática é atual e necessária.

O resíduo da indústria de plástico reforçado apresenta diferentes tipos de composição de acordo com a matéria prima utilizada. Por meio de espectroscopia

de fluorescência de raios-X em estudo realizado por Pinto (2002) foi demonstrado a composição química do resíduo de PRFV quando considerado nessa situação o uso como carga para material na construção civil. A tabela 4 apresenta os componentes presentes.

Tabela 4 - 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

Fonte: Pinto (2002).

Nos processos de fabricação industrial de compósitos são observados grandes quantidades de resíduos oriundos do processo de fabricação, como por exemplo *spray up*, que é utilizado para a fabricação de peças de grandes dimensões como reservatórios de água e piscinas. Porém, há perdas ao longo do processo como mostrado na figura 13 ocorre a geração de resíduos.

Figura 13 - Resíduos em PRFV numa indústria de piscinas



Fonte: Elaboração própria em 2018.

A geração de resíduos de materiais compósitos incluindo o plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) no Brasil, foi contabilizada no ano de 2012 em aproximadamente 20.000 toneladas e custo de R\$ 130 milhões no descarte desses resíduos (LIMA, 2013). A destinação é prioritariamente em aterros industriais o que configura um custo não somente sob o aspecto econômico, mas considerando ainda os impactos ambientais recorrentes de aspectos da geração de resíduos sólidos industriais como, por exemplo, redução da vida útil de aterros.

3.4 LEGISLAÇÃO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

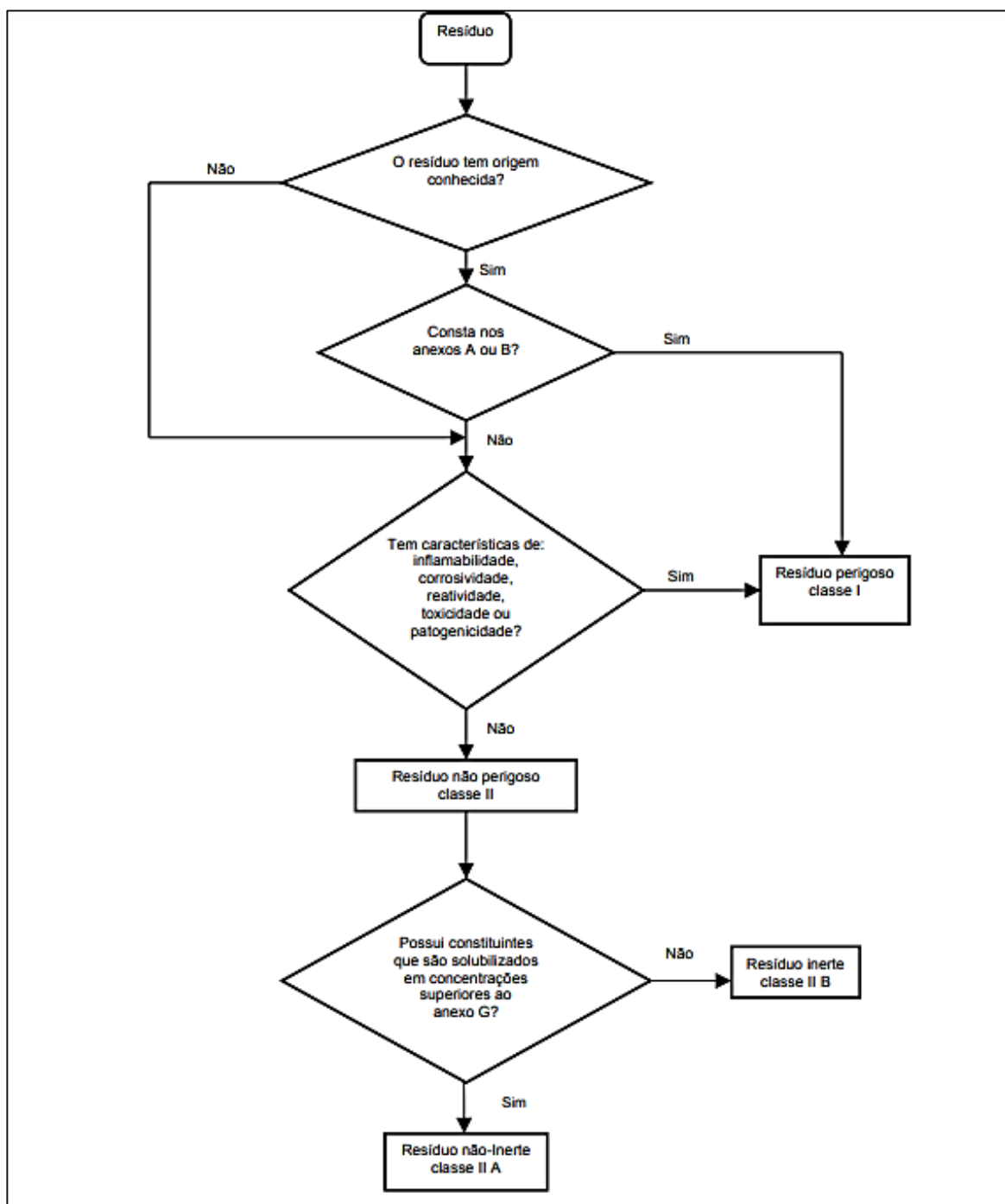
A resolução CONAMA nº 313 de outubro de 2002 que dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais define resíduo sólido industrial como sendo:

Todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição. (BRASIL, 2002).

É imprescindível, assim sendo, classificar e gerenciar essa categoria de resíduos a fim de conferir um destino adequado sem que esse afete de maneira prejudicial o ambiente e a saúde humana.

A Norma ABNT 10.004 de 2004 tem o objetivo de classificar os tipos de resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, com vistas ao gerenciamento adequado. Se refere a classificação de resíduos sólidos quanto a origem do processo ou atividade, de seus constituintes e características e apresenta listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. Sendo, portanto, os resíduos, classificados em classe I – Perigosos; resíduos classe II A – não inertes ou resíduos de classe II B – inertes, conforme figura 14.

Fluxograma 14 - Caracterização e classificação de resíduos



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004).

A classificação para aterros industriais também é feita com base nos tipos de resíduos constates na ABNT NBR 10.004 por classes I e II, de acordo com o grau de periculosidade dos resíduos para disposição. Os aterros Classe I recebem resíduos industriais perigosos enquanto os de Classe II, resíduos não-inertes (II A) e os resíduos inertes (II B). Desse modo, o local destinado a essa função deve ser

projetado seguindo a orientação necessária de Classe. O monitoramento de aterros industriais deve ocorrer com frequência, impedindo que haja ação de contaminantes no solo ou nas águas subterrâneas ao redor da área de construção (PORTELLA, 2014). A norma ABNT NBR 8419 norteia a concepção de aterros sanitários. Essa norma fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

A vida útil de um aterro está atrelada ao volume de material recebido em um determinado tempo, da densidade aparente do material e dos recursos disponíveis para a manutenção necessária. Esse meio de destinação costuma ser utilizado para disposição de resíduos classificados de acordo o tipo de periculosidade de material apresentando vantagem de baixo custo quando comparado com os outros tratamentos e disposição. No entanto, a necessidade de uma grande área física para a disposição dos resíduos e necessidade de um monitoramento contínuo refletem uma problemática desses ambientes.

O gerenciamento adequado dos resíduos sólidos industriais tem um importante viés com a expansão apropriada da estrutura econômica e social do país. No que se refere a questão econômica a política nacional de resíduos sólidos estabelece em alguns de seus preceitos a logística reversa de materiais com a responsabilidade compartilhada, obrigando as indústrias a optar pela minimização, reuso ou reciclagem de seus resíduos, estabelecendo o reconhecimento do potencial econômico desses resíduos e estimulando, por exemplo, a participação de cooperativas de catadores, agregando assim, valor social (BRASIL, 2010).

3.5 RECICLAGEM DE MATERIAIS EM PRFV E LOGÍSTICA REVERSA

Na fabricação de peças a partir de compósito de PRFV, é gerada uma quantidade expressiva de resíduos, os quais apresentam cada vez mais problemas relacionados à disposição em áreas adequadas para destinação cada vez mais raras, custos de destinação, diferença entre o tempo de decomposição comparado a tipos diferentes de resíduos, e a toxicidade ao meio ambiente dos produtos de decomposição gerados (SEVALD, 2012).

Os resíduos da indústria de PRFV, devido a sua composição e características são destinados em maior parte à disposição em aterros indústrias (KEMERICH, 2013).

De acordo a lei 12.305, de agosto de 2010, o termo reciclagem pode ser definido como:

O processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa. (BRASIL, 2010).

As aplicações para reciclagem de resinas termofixas estão subdivididas entre duas grandes categorias mais comumente utilizadas, correspondendo ao uso de resina termofixa moída e misturada com ligantes adesivos, e resina termofixa moída misturada como carga em matrizes termoplásticas ou termofixas não-curadas (RIBEIRO, 2015).

As alternativas de reciclagem de compósitos de poliéster insaturado/fibra de vidro incluem ainda a reciclagem química da resina de poliéster para a produção de carbono ativado por termólise e por pirólise, que consiste na degradação térmica da estrutura química do polímero sob altas temperaturas que variam de 400°C a 700°C, podendo produzir carvão, gases combustíveis, óleo, por exemplo, possibilitando a recuperação de materiais constituintes do resíduo (GUERRERO, 2011). Alternativas de reciclagem de compósitos através de moagem e incorporação em novos sistemas compósitos também podem ser consideradas (RIBEIRO, 2015).

Sob a ótica das questões ambientais, materiais com composição sintética não assimiláveis pela natureza devem receber um tratamento adequado antes de receberem disposição final, considerando métodos de destinação como a reciclagem específicas ao tipo de resíduo, sendo, portanto, os custos advindos e a complexidade do processo de reciclagem dependentes das propriedades físicas químicas do resíduo. Contudo, especialmente nos setores industriais, antes mesmo de considerar a reciclagem como alternativa a destinação final de resíduos deve-se haver o controle adequado de todas as etapas do sistema produtivo com vistas a eficiência de processos, bem como investimento em tecnologia de materiais, mão de obra especializada, visando a diminuição na geração de resíduos perigosos à natureza.

A lei 12.305, de agosto de 2010, conceitua logística reversa como sendo:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e

a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. (BRASIL, 2010).

Representa um importante instrumento da política nacional de resíduos sólidos que visa garantir a responsabilidade sobre o resíduo gerado, bem como o estabelecimento de uma nova perspectiva de cadeia pós consumo através do reconhecimento do potencial econômico agregado.

3.5.1 Reciclagem mecânica de resíduos de PRFV através de incorporação em matrizes

A seguir serão apresentados trabalhos que foram desenvolvidos nos últimos 10 anos onde são abordados a reciclagem de compósitos poliméricos. A reciclagem mecânica consiste na trituração de um material e consequente peneiramento em partículas mais finas para inclusão em novos materiais, sendo utilizada em maior escala em compósitos reforçados com fibra de vidro (Oliveux, 2015).

O aparecimento da reciclagem mecânica de plástico reforçado com fibras de vidro é datada no ano de 1970 (JOB, 2013). Considerando a característica do material PRFV, que por ser um compósito termofixo apresenta restrições de reprocessamento em razão da sua composição, e não podendo dessa maneira ser remodelado como termoplásticos, a opção da reciclagem mecânica surgiu como uma possibilidade nesse cenário. (KEMERICH, 2013).

A utilização de resíduos de materiais compósitos na forma de partículas para a incorporação em diferentes tipos de matrizes tem sido abordada em diversos estudos, quando considerado a reciclagem mecânica por meio da inserção de resíduos oriundos de processos industriais. De acordo com Oliveux, (2015) a empresa canadense *Phoenix Fiberglass* desenvolveu a prática de reciclagem de resíduos de materiais compósitos com fibras de vidro em matriz poliéster no ano de 1994, os resíduos oriundos do processo de fabricação de materiais eram condicionados a um processo minucioso de separação dos componentes em que esse era reinserido dentro da própria indústria.

De acordo com Gharde; Kandasubramanian (2018), a técnica de reciclagem mecânica envolve uma sequência de operações como triagem do material, corte,

trituração, e demais processos que permitam a redução no tamanho de resíduos de materiais compósitos. Sendo inicialmente classificados e, posteriormente, triturados em dimensões de cerca de 50-100 mm.

Asokan et al. (2009) utilizaram a técnica de reciclagem mecânica por meio da inserção de partículas finas do resíduo de PRFV no concreto em diferentes proporções - 5%, 15%, 30% e 50%. Foi observado no estudo uma redução na resistência à compressão do concreto quando comparado ao concreto sem a utilização de resíduos de PRFV.

Além disso, o mesmo autor Asokan et al. (2010) realizou outro estudo sobre a reciclagem mecânica de PRFV com a incorporação de 5% e 15% de resíduo ao cimento, com adição de 2% de superplastificante ao composto sendo observada uma melhora na resistência à compressão, ou seja, 45% de melhora identificada em comparação ao concreto sem superplastificante e 11% de incremento em comparação ao concreto sem resíduos de PRFV. O aumento na resistência à ruptura por tração dos compósitos também foi observado.

Garcia et al. (2014) estudou a reciclagem mecânica de resíduos de fibras de vidro mediante processos de trituração e peneiramento e, em seguida, reincorporados com a sílica de areia padrão e areia calcária natural para pré-moldar um componente de micro concreto em diferentes proporções (0%, 5% e 10%). A resistência à compressão e à flexão foi calculada e diminuiu em força à medida que o resíduo de fibras de vidro aumentou.

No estudo de Shuaib e Mativenga (2016b) a alta demanda na produção de compósitos termofixos com fibras de vidro e a geração de resíduos do processo e de vida útil dos materiais produzidos é citada como uma problemática. Nesse contexto, os autores citam a reciclagem mecânica como sendo atualmente um processo rápido e eficaz na reciclagem em escala industrial. Nessa perspectiva, além dos processos de fabricação que são rigorosamente atendidos pelas companhias, tão importante quanto se faz o conhecimento sobre a qualidade da reciclagem. As variáveis do processo de granulometria mecânica que influenciam a demanda de energia e a qualidade da reciclagem foram estudadas, sendo comparadas duas tecnologias de trituradores.

No estudo foi demonstrado que a energia total do triturador é altamente dependente do tamanho da tela de passagem das partículas. Um tamanho de tela pequeno aumenta o tempo de permanência do material na câmara de corte, portanto,

exige um maior consumo de energia. De acordo com os autores, esse fator é relevante quando se considera o impacto da taxa de processamento da demanda de energia em processos de reciclagem. (SHUAIB E MATIVENGA, 2016b).

O material utilizado para o processo de moagem inicialmente apresentava uma espessura de 50 mm. Como resultado dos testes de peneiramento, os materiais foram ainda classificados em grosseiros (material triturado retido na peneira de 2,36 mm e partículas maiores) e finos (material triturado abaixo do nível da peneira de 2,36 mm). O teor grosseiro consistia predominantemente de flocos grandes. Sendo as frações grosseiras consideradas grandes demais para reutilização imediata como cargas de novos materiais compósitos e por essa razão, necessitando serem reprocessados. As frações finas abaixo de 2,36 mm foram consideradas como a porção útil do material triturado. (SHUAIB E MATIVENGA, 2016b).

Os autores constaram ainda que, embora tamanhos maiores de tela contribuam para redução na demanda de energia consumida no processo, esse tipo de triturador não processa todo o material inserido na máquina, deixando sobrar partículas grosseiras que exigem um reprocessamento para melhor reciclagem. Nessa etapa foram comparados dois tipos de granuladores: o primeiro do modelo *Wittmann* MAS1 e o segundo, modelo *Eco-Wolf* GM-2411-50. O triturador *Eco-Wolf* GM-2411-50 apresentou um consumo de 0.14 MJ/kg para 800 kg/hora sendo mais econômico em termos de demanda de energia e quantidade de material processado comparado aos 0.32 MJ/kg para 30 kg/hora do modelo *Wittmann* MAS1. (SHUAIB E MATIVENGA, 2016b).

O processo de moagem dos resíduos em Plástico reforçado com fibra de vidro no *Eco-Wolf* apresentou baixo teor de resina residual, maior comprimento de fibra média presente no resíduo e maior geração de partículas com frações finas. Esses resultados positivos puderam ser atribuídos a uma baixa abertura de 3 mm no moinho *Eco-Wolf*, em comparação com 5 mm de abertura no *Wittmann*. Uma menor abertura permite maior quantidade de material a ser processado, portanto, mais fração fibrosa pode ser produzida. Isso também reduz tamanho de partículas e a geração de flocos. Esta descoberta fornece uma importante visão sobre a influência do design da máquina na qualidade do material triturado para incorporação em novos materiais compósitos. (SHUAIB E MATIVENGA, 2016b).

No estudo de Mazzoli (2015) foi utilizado microscopia eletrônica de varredura (MEV) para identificar as propriedades do uso da granulometria das partículas dos

compósitos, nessa proposta objetivou-se sugerir o uso desse método padronizado de medição e análise, a fim de caracterizar o tamanho de grão e a distribuição de tamanho das partículas de PRFV antes de explorar qualquer aspecto de compatibilidade para o gerenciamento da reciclagem como no caso da incorporação do pó de PRFV como carga em cimentos, por exemplo.

No âmbito da utilização de resíduos de PRFV como cargas em cimentos tem sido observada inúmeras práticas. Partículas de resíduos em PRFV incorporadas como carga em argamassas a base de cimento foram estudadas por Farinha (2018), sendo um estudo sobre a inclusão dos resíduos em teores de 10%, 20%, 30% e 50%, sendo analisado a absorção de umidade do material, além da resistência à flexão e compressão. O estudo demonstrou uma melhora no desempenho mecânico da argamassa contendo 50% de resíduo. A absorção de água das argamassas, medida pelo coeficiente de capilaridade, foi significativamente reduzida em cerca de 80%, pela inserção de resíduos de PRFV, favorecendo a durabilidade do produto final.

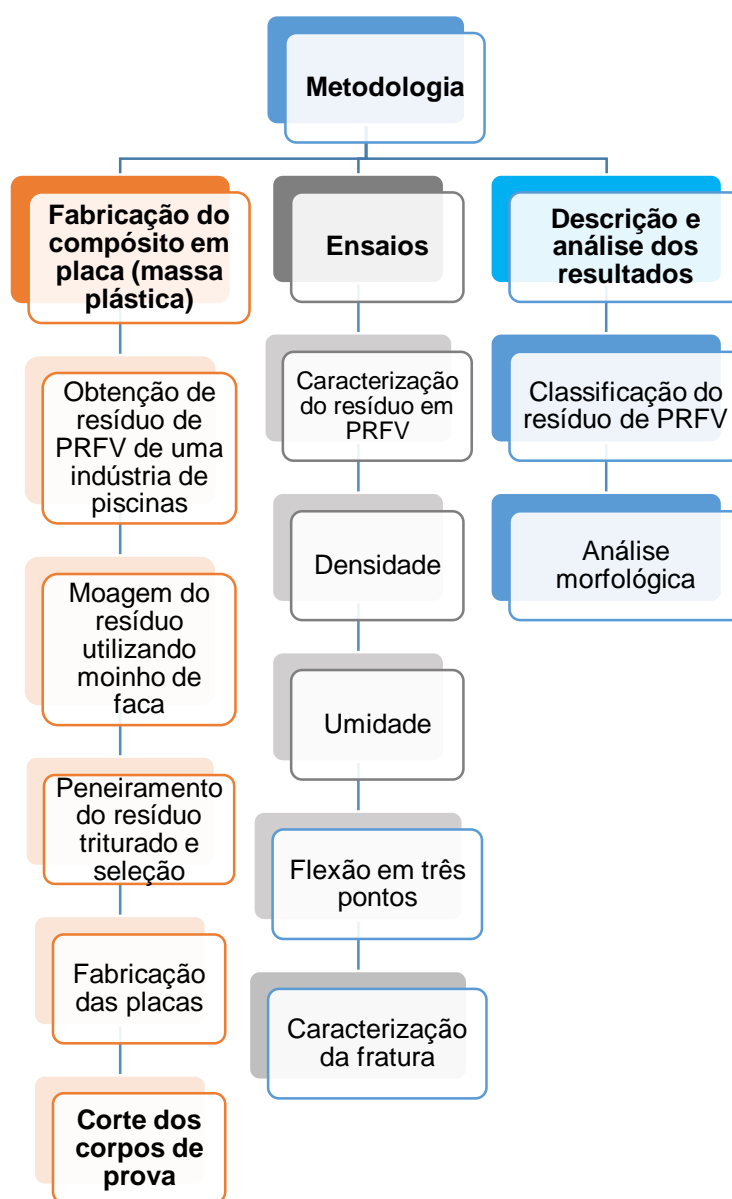
O estudo de Castro (2013) trata da incorporação de resíduos de PRFV em argamassas à base de poliéster, como substitutos à carga convencional (areia). Diferentes teores de peso dos resíduos de PRFV reciclados mecanicamente com dois graus de tamanho de partícula foram considerados para a formulação de novos materiais. Em todas as formulações, foi utilizado uma matriz de resina de poliéster com a adição de um agente de junção (silano), a fim de melhorar as interfaces de agregados ligantes. O valor acrescentado da solução de reciclagem foi avaliada por meio de resistência à flexão e à compressão de argamassas misturadas com PRFV em relação aos de argamassas não modificadas.

Os resultados demonstraram que a substituição parcial dos agregados de areia por qualquer um dos tipos de resíduos de PRFV melhora o desempenho mecânico das argamassas poliméricas resultantes. No caso do experimento contendo a mistura de resíduos mais grosseiros, os melhores resultados foram observados com 8% do conteúdo. Para argamassas poliméricas à base de resíduos finos, 4% em peso do conteúdo de resíduos levaram a maiores aumentos em relação às forças mecânicas.

4 METODOLOGIA

Neste item será abordado a fabricação do compósito (massa plástica), os ensaios realizados nos corpos de provas fabricados, e a descrição e análise dos resultados. A figura 15 mostra um esquema representativo detalhado da metodologia do presente estudo.

Fluxograma 15 - Metodologia do estudo



Fonte: Elaboração própria em 2018.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O resíduo em PRFV foi coletado em uma indústria situada na cidade de Macaíba (RN), onde há fabricação de piscinas.

Os resíduos de PRFV coletados foram oriundos da perda de material nas bordas das piscinas e no piso da indústria, como mostrado na figura 16. Esse material é considerado pela empresa como resíduo, sendo esse encaminhado para disposição em aterro industrial.

Figura 16 - Resíduo na fabricação de piscinas, presente nas bordas do equipamento e no piso da indústria



Fonte: Elaboração própria em 2018.

4.2 FABRICAÇÃO DO COMPÓSITO (MASSA PLÁSTICA) COM RESÍDUO DE PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV)

A etapa de fabricação da massa plástica ocorreu inicialmente com a coleta dos resíduos em PRFV da indústria de piscinas, figura 17 (a), e sequencialmente com a trituração dos resíduos em um moinho de facas, figura 17 (b), a fim de obter um material particulado para incorporação em uma matriz de resina de poliéster.

Figura 17 – Resíduo de PRVF e moinho (a) Resíduo de PRVF (b) Moinho de facas



Fonte: Elaboração própria em 2018.

Com o uso do moinho de facas foi possível realizar uma redução no tamanho do material para valores abaixo de 5mm.

Os resíduos foram inseridos na bandeja de alimentação como apresentado na figura 18 (a), sendo o local onde o material foi depositado para ser triturado. O rotor de facas e a câmara de moagem foram responsáveis pela trituração mediante acionamento, figura 18 (b).

Figura 18 – Moinho de facas (a) bandeja do moinho de facas (b) rotor de facas e câmara de



Fonte: Elaboração própria em 2018.

Na figura 19 é possível observar o resíduo antes da moagem do PRFV (a) e após processamento no moinho de facas (b).

Figura 19 - Resíduo em PRFV antes e após moagem.



Fonte: Elaboração própria em 2018.

Os resíduos triturados foram submetidos a seleção em peneiras de granulometrias de 2mm; 1,19mm; 0,84mm; 0,59mm; 0,50mm; 0,42mm; 0,25mm, como representado na figura 20.

Figura 20 – Etapas de seleção do resíduo (a) Resíduo moído; (b). Peneiras; (c) Sobre de resíduo retido na primeira peneira; (d) Resíduos peneirados em suas respectivas granulometrias.



Fonte: Elaboração própria em 2018.

Os resíduos de PRFV já peneirados em suas respectivas granulometrias foram selecionados para fabricação da massa plástica considerando as granulometrias mais finas para uma melhor incorporação do material particulado na matriz polimérica. Sendo, portanto, utilizadas as seguintes granulometrias: 0,50mm, 0,42mm e 0,25mm. Esses conteúdos foram unidos em um mesmo recipiente tendo em vista que essas dimensões de partículas associadas permitiriam a produção de uma massa plástica.

As proporções de matriz e resíduo (MR) do compósito particulado foram definidas em 20%, 30% e 40%, considerando a textura da massa para a fabricação de uma placa, afim de que as concentrações fossem avaliadas mediante testes experimentais nos corpos de prova, sob o ponto de vista de melhor performance para o uso pretendido, que se refere à substituição dos suportes de madeira de encaixe das piscinas pela massa de resina, utilizando os resíduos de PRFV da indústria. Na Tabela 5 está representado a quantidade de resíduo em PRFV em relação à resina nas proporções mencionadas.

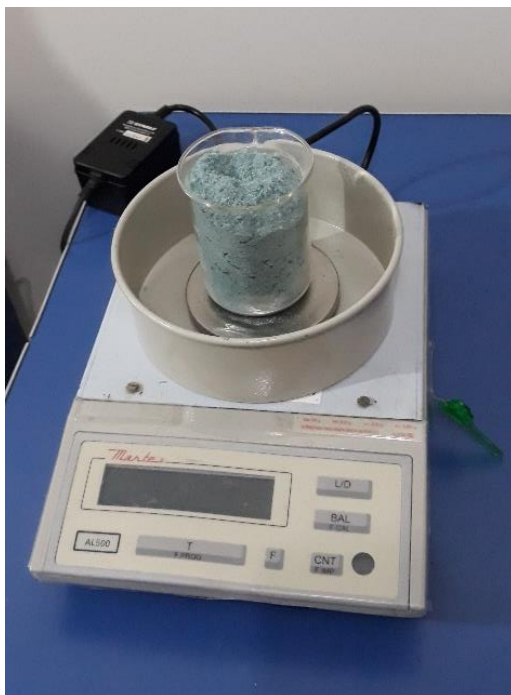
Tabela 5 - Proporção de resíduo e resina para fabricação das placas

Compósito	Resíduo (PRFV) (g)	Resina (g)
MR 20	100	500
MR 30	150	500
MR 40	200	500

Fonte: Elaboração própria em 2018.

Para a pesagem do resíduo de PRFV em suas respectivas concentrações foi utilizada uma balança digital, da marca Marte, AL 500 com resolução 0,001 g e capacidade máxima de 510g, conforme figura 21.

Figura 21 - Pesagem da massa do resíduo em PRFV



Fonte: Elaboração própria em 2018.

Para a fabricação das placas da massa de resina foram elaborados moldes feitos em vidro com dimensões internas de 0,61m x 0,26m x 0,003m com volume de 0,500L. Houve a aplicação de um desmoldante (cera de carnaúba) em toda a superfície do molde a fim de facilitar o desprendimento da placa produzida com massa de resina ao fim do processo de cura, conforme representado na figura 22.

Figura 22 - Preparo do molde. (a) Superfície da placa com desmoldante e (b) medição das dimensões



Fonte: Elaboração própria em 2018.

4.2.1 Compósito com resíduo de 20%, 30% e 40%

Para a fabricação da placa de MR 20, foi utilizado o volume de 500 ml de resina poliéster do tipo ortoftálica, fabricante Novopol e disposta em um recipiente acrescentado 100g de resíduo em PRFV, conforme figura 23 (a) e (b). O conteúdo foi misturado e logo após foi inserido 5ml de solução catalisadora MEKP a 1%, para contribuir no processo de cura, conforme figura 23 (b), (c) e (d). Esse conteúdo foi disposto no molde por um período de 24 horas para posterior desmolde. Esse procedimento foi realizado de maneira semelhante para as duas outras concentrações (30% e 40%) sendo alterados apenas os valores de massa de resíduos. Para a placa MR 30 foi acrescentado 150g de resíduo em PRFV, conforme figura 24 e para a placa MR 40, 200g de resíduo, conforme figura 25.

Figura 23 - Massa de resina - Concentração de 20%. (a) Resina e resíduo em PRFV. (b) Junção dos componentes. (b) Adição da solução catalisadora. (c) Textura da MR 20.



Fonte: Elaboração própria em 2018.

Figura 24 – Textura da MR 30.



Fonte: Elaboração própria em 2018.

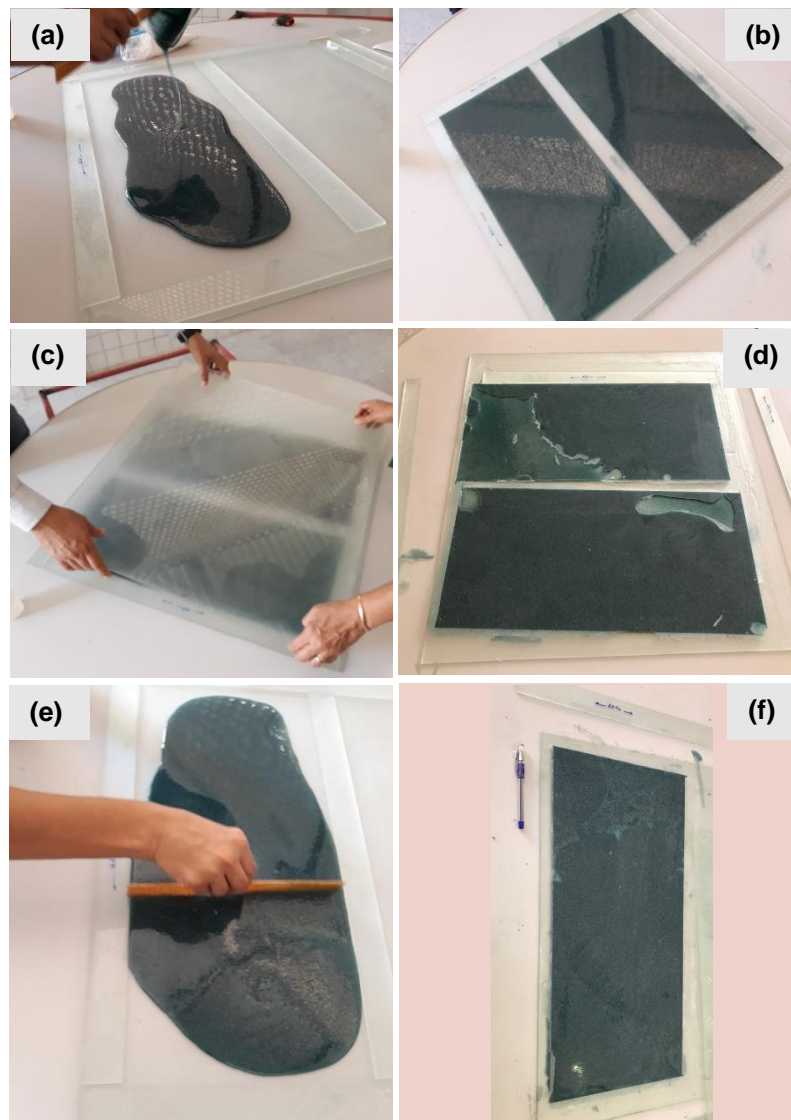
Figura 25 - Massa plástica com concentração de 40%



Fonte: Elaboração própria em 2018.

As massas plásticas com as concentrações de 20%, 30% e 40% foram dispostas nos moldes para a cura e sob a superfície adicionada uma placa de vidro, para manter uma espessura constante. Foi decorrido um período de 24 horas para realizar o desmolde. A figura 26 mostra as massas plásticas nas placas e a formação da estrutura rígida (novo composto).

Figura 26 - Placa de massa plástica nas concentrações de 20% e 30% (a), (b), (c) e (d) e na concentração de 40% (e), (f).



Fonte: Elaboração própria em 2018.

4.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para a fabricação dos corpos de prova foi utilizado a serra de fita. Após a etapa de corte, os corpos de prova (CP) foram lixados com lixa d'água na seguinte sequência granulométrica: 220 e 320mm, conforme figura 27. As dimensões dos CP para o ensaio de densidade, umidade e flexão em três pontos foram consideradas conforme as normas ASTM D792, ASTM D5229 e ASTM D790, respectivamente. Na figura 27, é possível ainda observar os respectivos corpos de prova utilizados para os ensaios.

Figura 27 - Processo de confecção dos corpos de prova: (a) corte dos corpos de prova, (b) lixamento dos corpos de prova e (c) corpos de prova para os três ensaios.



Fonte: Elaboração própria em 2018.

4.4 ENSAIOS

4.4.1 Densidade volumétrica da massa plástica (MP)

Para a realização do ensaio de densidade da massa plástica foi seguida a norma ASTM D792. Foram confeccionados cinco corpos de prova para cada configuração dos compósitos. Foi utilizada uma balança digital, da marca Bioprecisa, FA 2104N com resolução 0,1 mg e capacidade máxima de 210g para execução do ensaio, conforme figura 28.

Figura 28 - Balança digital modelo FA 2104N



Fonte: Elaboração própria em 2018.

Para fins de cálculo dos resultados obtidos ao término das pesagens foi aplicada a equação do cálculo de densidade acordo com a norma ASTM D792:

$$sp\ gr\ 23/23^{\circ}C = a/(a + w - b) \quad (1)$$

Onde: a = massa aparente do corpo de prova, sem fio ou peso (*sinker*), no ar;
b = massa aparente do corpo de prova (e do *sinker*, se usado);
completamente imerso e do fio parcialmente imerso em líquido, e
w = massa aparente do peso (*sinker*) totalmente imerso (se usado) e
do fio parcialmente imerso.

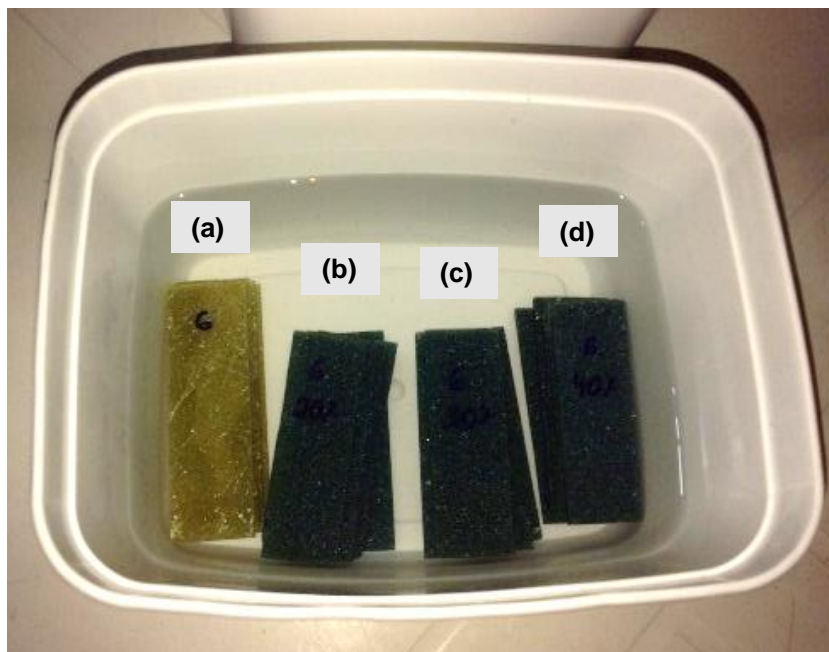
4.1.2 Absorção de umidade

Para a realização do ensaio de umidade da massa plástica foi seguida a norma ASTM D5229. Foram confeccionados cinco corpos de prova (CP) para cada tipo de compósito, além de cinco CP de uma placa apenas fabricada com resina para comparação do comportamento em relação aos demais corpos de prova fabricados

com a massa plástica, seguindo as dimensões da norma. Foram submetidos a uma primeira pesagem e após obtidos os valores, dispostos em água destilada, conforme a figura 29.

Figura 29 - Ambiente de exposição dos CP: água destilada.

Corpos de prova de (a) resina, (b) 20%, (c) 30% e (d) 40%



Fonte: Elaboração própria em 2018.

Inicialmente, todos os corpos de prova foram pesados em balança analítica e os valores devidamente registrados. Sequencialmente, imersos em água destilada os cinco corpos de prova de cada concentração de 20%, 30% e 40% além da resina. A nova pesagem ocorreu sete dias após a primeira pesagem do material, sendo realizada em cinco dias consecutivos. As pesagens continuaram alternadas em quinze dias. O ensaio de umidade foi realizado em um período de aproximadamente 3 meses (até a saturação) e para cada dia de pesagens dos cinco corpos de prova foi realizado o cálculo da média dos resultados e ao final, a média de todos os dias que ocorreram a pesagens.

Para fins de cálculo dos resultados obtidos ao término das pesagens foi aplicada a equação do cálculo de absorção de umidade de acordo com a norma ASTM D5229:

$$M, \% = \frac{W_i - W_o}{W_o} \times 100$$

(2)

Onde: M = absorção de umidade do material em %

W_i = peso do material úmido

W_o = peso do material seco

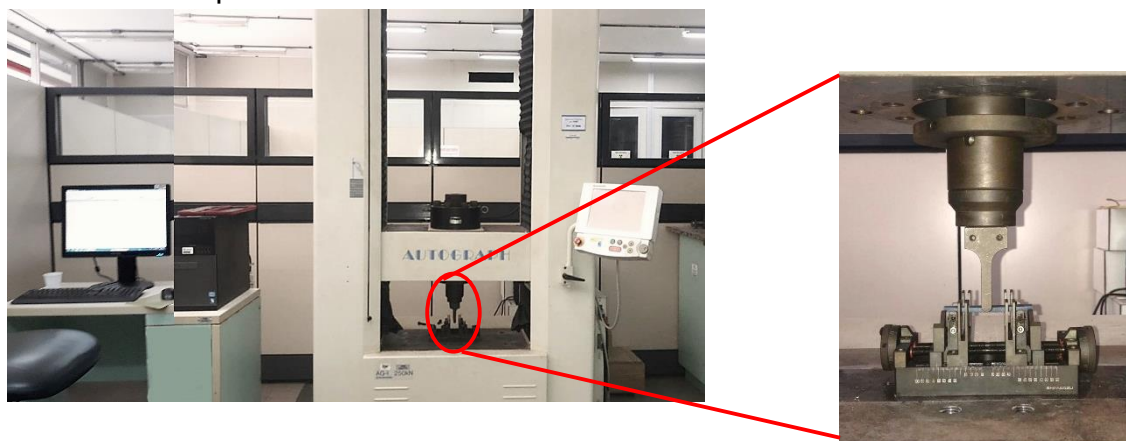
4.1.4 Desempenho mecânico do PRFV

Para a determinação do desempenho mecânico foi realizado o ensaio de flexão em três pontos, como descrito abaixo:

4.1.4.1 Flexão em três pontos

O ensaio de flexão em três pontos foi realizado mediante procedimento constante na norma ASTM D790, utilizando a máquina de Ensaio universal mecânico, modelo AGI-250 KN, com velocidade de carregamento de 0,0005 – 500 mm/min, conforme figura 30. Os dados foram tratados no *software Origin*.

Figura 30 - Máquina de ensaio universal mecânico, com garras para o ensaio de flexão em três pontos



Fonte: Elaboração própria em 2018.

Foi obtido nesse ensaio a resistência a flexão, o módulo de elasticidade à flexão e a deflexão máxima do compósito, que foram calculados de acordo com as seguintes equações:

Equação 1: Resistência a flexão

$$\sigma_f = \left(\frac{3 * P * L}{2 * b * h^2} \right) \quad (3)$$

Onde:

σ_f = Tensão de flexão em MPa;

P = Carga aplicada em N;

L = Distâncias entre os apoios em mm;

b = Largura do corpo de prova em mm; e

h = Espessura do corpo de prova em mm.

Equação 2: Módulo de elasticidade

$$E = \left(\frac{m * L^3}{4 * b * h^3} \right) \quad (4)$$

Onde:

E= Módulo de elasticidade à flexão em %;

m= Tangente do ângulo da curva na região elástica na curva (carga x deslocamento) em N/mm;

L= Distâncias entre os apoios em mm;

b= Largura do corpo de prova em mm; e

h= Espessura do corpo de prova em mm.

Equação 3: Deflexão máxima

$$\epsilon = \left(\frac{6 * D * h}{L^2} \right) \quad (5)$$

Onde:

ϵ = Deflexão máxima;

D= Flecha máxima no centro do corpo de prova em mm;

h= Espessura do corpo de prova em mm; e

L= Distâncias entre os apoios em mm.

4.1.3 Avaliação morfológica do PRFV – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Esta avaliação objetivou realizar o reconhecimento da estrutura do material compósito produzido em relação ao desgaste superficial durante o processo de absorção de umidade e morfológicamente, além da interface do material quanto a interferência que esse possa ter sofrido após exposição em meio aquoso (água destilada). Sendo realizada a microscopia eletrônica de varredura (MEV). Essa análise foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura, marca *Shimadzu*, modelo Superscan SSX-550 conforme figura 31.

Figura 31 - Microscópio eletrônico de varredura



Fonte: Elaboração própria em 2018.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PRFV

A composição química do resíduo de PRFV foi determinada por espectroscopia de fluorescência de raios-X, assim como representada na tabela 6.

Tabela 6 - Composição química do resíduo de PRFV

Principais componentes	Composição (%)
CaO	52,4
SiO ₂	30,6
Al ₂ O ₃	9,1
TiO ₂	3,5
Fe ₂ O ₃	2,5
K ₂ O	0,58
SO ₃	0,48
BaO	0,30
CO ₂ O ₃	0,19
CuO	0,11
SrO	0,10
ZnO	0,08
MnO	0,08

Fonte: Elaboração própria em 2019.

O resíduo é em maior parte constituído por óxido de cálcio e dióxido de silício e em menor proporção por óxido de manganês. A classificação do resíduo quanto a sua composição e quanto às normas ambientais oferece o entendimento sobre os impactos ambientais que podem ser gerados no descarte do resíduo. Assim sendo, de acordo com sua classificação é determinado o correto gerenciamento dos resíduos – coleta, transporte e destinação. O reconhecimento do tipo de resíduo poderá ser o diferencial nesse processo, gerando mais opções de destinação, sendo consideradas alternativas menos dispendiosas.

A resina poliéster utilizada na fabricação do compósito de plástico reforçado com fibras de vidro tipo ortoftálica possui em sua composição o ácido ftálico, também conhecido como ácido ortoftálico, anidrido ftálico ou ainda possuindo anidrido maléico. (CHANDA; ROY, 2008) Considerando a composição da matriz (resina) e do reforço (fibra de vidro) e visando identificar a classe do resíduo de compósito em PRFV o enquadramento se deu mediante a identificação dos constituintes em separado, visto que as normas disponíveis no Brasil não classificam o resíduo de PRFV diretamente.

Na resolução Conama 313 de 2002, a fibra de vidro se enquadra entre as classes II e III (antiga nomenclatura) e buscando identificar a classe específica do material na atual classificação, foram seguidas as instruções da norma ABNT NBR 10.004 de 2004, em que o enquadramento do tipo de resíduo ocorre mediante características e/ou composição apresentadas pelo material. Sendo assim, a fibra de vidro considerada resíduo classe II A – não inerte e a resina ortoftálica, em detrimento de seus constituintes citados anteriormente, classe I – perigoso, conforme disposto no quadro 3.

Embora, seja um polímero termofixo, que só é submetido à combustão em altas temperaturas, o resíduo PRFV em detrimento de sua composição, apresenta compostos tóxicos perigosos que sem o correto meio de descarte pode acarretar em aspectos e impactos ambientais preocupantes.

Quadro 3 - Classificação do compósito de PRFV

Material	Classe ABNT NBR 10.004 de 2004
Resina	Classe I (perigoso)
Fibra de Vidro	Classe II A

Fonte: Elaboração própria em 2019.

De acordo com Pinto (2002), A composição do resíduo depende essencialmente do tipo de processo de fabricação utilizado na etapa de fabricação de materiais em PRFV. Contendo em geral, os resíduos provenientes de processos de moldes fechados, elevados teores de cargas minerais, contudo fibras de vidro e resina em menor proporção. Se tratando do uso de molde aberto, a relação entre resina e fibra é igual ou maior que 70/30. (PINTO, 2002).

5.3 DENSIDADE

Na Tabela 7 é possível observar a densidade do compósito com a utilização de resíduos (MR 20, MR 30 e MR 40) e sem resíduos (resina); Os resultados foram obtidos a partir da média de cinco corpos de prova. Analisando os resultados é possível detectar que o compósito utilizando o resíduo nas referidas concentrações teve densidade equiparada à resina pura, apesar de ter havido um acréscimo sutil na densidade, no entanto considerando os desvios padrões observa-se que as densidades dos compósitos permaneceram praticamente inalterada. Essa condição é benéfica quando considerado que no uso do material não haverá aumento na densidade quando incorporado resíduos de PRFV na matriz, assim como descrito na literatura por Hull (1996).

Tabela 7 - Densidade do compósito

Resina	DENSIDADE (g/cm ³)		
	MR 20	MR 30	MR 40
1,23 ± 0,01	1,24 ± 0,01	1,24 ± 0,01	1,25 ± 0,01

Fonte: Elaboração própria em 2019.

5.4 UMIDADE

A seguir é possível observar na tabela 8 os valores da absorção de umidade dos compósitos e da resina quando imersos em água destilada, conforme norma ASTM D5229. Foi observado que o tempo de saturação da umidade foi de aproximadamente 90 dias para todos os materiais. Conforme tabela 8, verifica-se que ao colocar o resíduo houve um aumento da absorção de umidade, isso quando comparado os valores dos compósitos com o valor da resina. Isso pode ser explicado devido as partículas de PRFV servirem de caminho para que a umidade percorra por capilaridade.

Tabela 8 - Umidade do compósito

Resina	UMIDADE (%)		
	MR 20	MR 30	MR 40
0,54 ± 0,03	0,90 ± 0,05	1,05 ± 0,15	0,97 ± 0,06

Fonte: Elaboração própria em 2019.

5.5 ENSAIO DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS

Foram submetidos ao carregamento de flexão em três pontos os corpos de prova fabricados na relação MR 20, MR 30 e MR 40, visando avaliar o comportamento desses materiais quando submetidos ao tipo de esforço mecânico aplicado, sendo identificados a tensão máxima (MPa), o módulo de elasticidade (GPa) e deformação máxima (%), conforme tabela 9. Os valores das propriedades de flexão foram determinados a partir da média de cinco corpos de prova, conforme estabelecido na norma ASTM D790-10.

Analisando os resultados relativos as propriedades de flexão observam-se que a tensão máxima à flexão no material MR 30% foi aproximadamente 10% a menos quando comparado com ao MR 20. Entretanto, para o MR 40 houve um aumento na tensão, quando comparados com MR 20 e MR 30. Um comportamento semelhante pode ser observado com o módulo elasticidade, no MR 20 foi observado um valor intermediário em comparação as outras porcentagens. No MR 30 houve uma diminuição e o módulo de elasticidade aumentou no MR 40.

O comportamento atípico do MR 30 pode ser explicado por uma não distribuição homogênea dos resíduos (reforço) na matriz, sendo evidenciado essa concentração de resíduos em determinados pontos na figura 35 quando foi realizada a análise morfológica, o que não possibilitou a transferência homogênea das forças, atuando como falhas fragilizando a matriz, assim como apontado por Mantovani (2017). Observa-se que a resistência à flexão para todos os percentuais foi maior quando comparada com a resistência à flexão da resina poliéster no trabalho desenvolvido por Ferreira (2017) que foi de 40 MPa , porém isso acontece devido a inserção do resíduo pois eles serão pontos de concentração de tensão, no entanto o seu uso não invalida pois esses compósitos poderão ser utilizados onde esse tipo de carregamento não seja tão exigido, que neste caso, será utilizado como material de enchimento nas bordas das piscinas.

Tabela 9 - Propriedades de flexão em três pontos

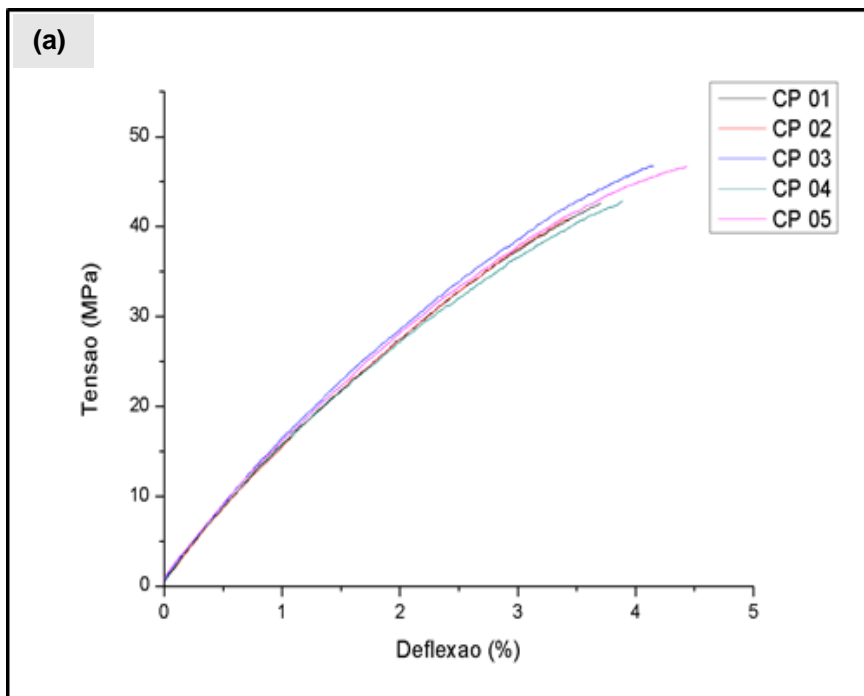
Material	Tensão máxima (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Deformação máxima (%)
MR 20	45,20 ± 3,29	1,13 ± 0,12	4,00 ± 0,40
MR 30	40,90 ± 2,53	0,86 ± 0,11	4,80 ± 0,60
MR 40	48,30 ± 7,16	1,33 ± 0,53	3,90 ± 0,70

Fonte: Elaboração própria em 2019.

A figura 32 ilustra o aspecto típico das curvas de tensão (MPa) e deflexão (%), obtidas por meio dos ensaios de flexão em três pontos, para cinco corpos de prova fabricados nas diferentes frações de resíduo de PRFV. Na figura 32 (a) observa-se que com a adição do resíduo de PRFV na relação MR 20, MR 30 e MR 40, teoricamente acreditava-se que haveria um aumento substancial da resistência de compósitos poliméricos. No entanto, a literatura indica em muitos estudos que, o acréscimo do volume na fração de material de reforço em um compósito pode fazer reduzir as suas propriedades mecânicas. Para cada tipo de fibra existe um valor ideal de volume em fração, diretamente relacionado à natureza das fibras e suas características em termos de força, adesão interfacial, propriedade física, entre outros indicadores, como apontado por Silva (2014). Para o resíduo de PRFV utilizado para fabricação de um compósito na forma de uma massa plástica, a relação nas três porcentagens citadas anteriormente foram consideradas para identificar a proporção que confere uma melhor propriedade mecânica ao material.

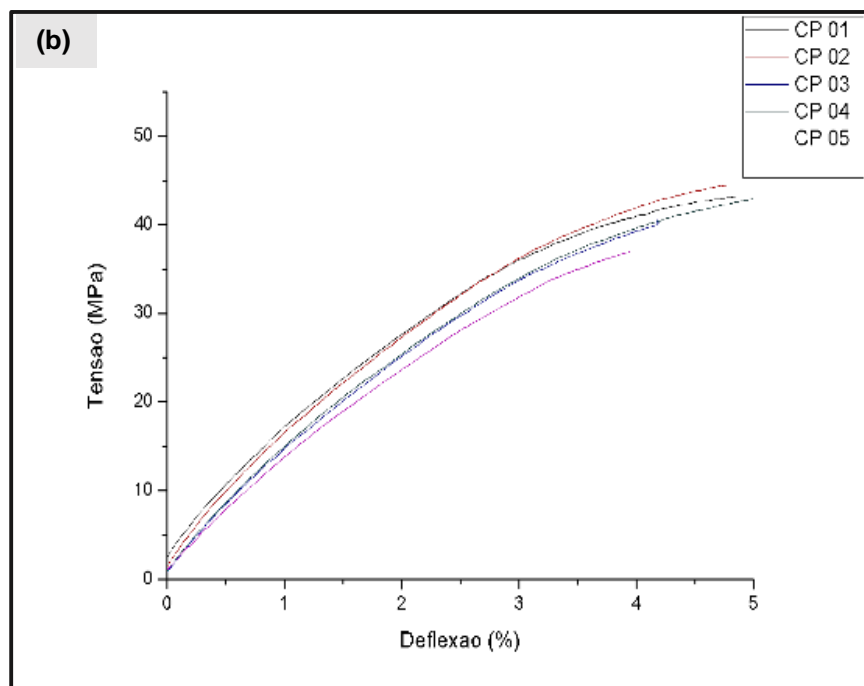
Na figura 32 (a), (b) e (c) é possível observar um comportamento uniforme quanto a material submetido ao ensaio. Verifica-se que com o aumento na fração de resíduos o comportamento da flexão do material é afetado, mas não de modo proporcional ao aumento de material introduzido, como esperado. No entanto é importante ressaltar que para todos os percentuais, o material teve o mesmo comportamento mecânico que foi linear.

Gráfico 32 - Curvas de tensão vs. deflexão dos ensaios de flexão de compósitos de matriz poliéster reforçados com diferentes frações de PRFV (a) MR 20, (b) MR 30 e

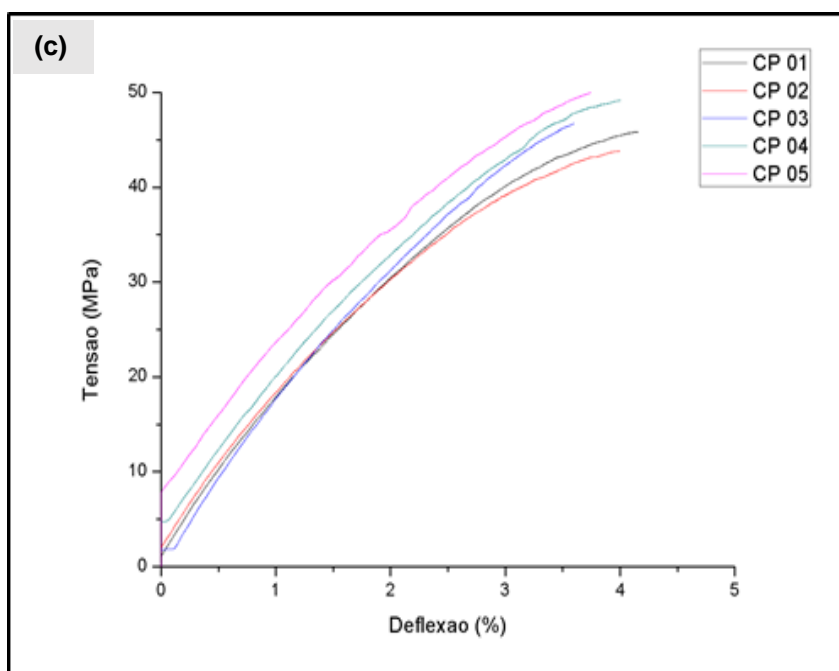


(c) MR 40.

Fonte: Elaboração própria em 2019.



Fonte: Elaboração própria em 2019.

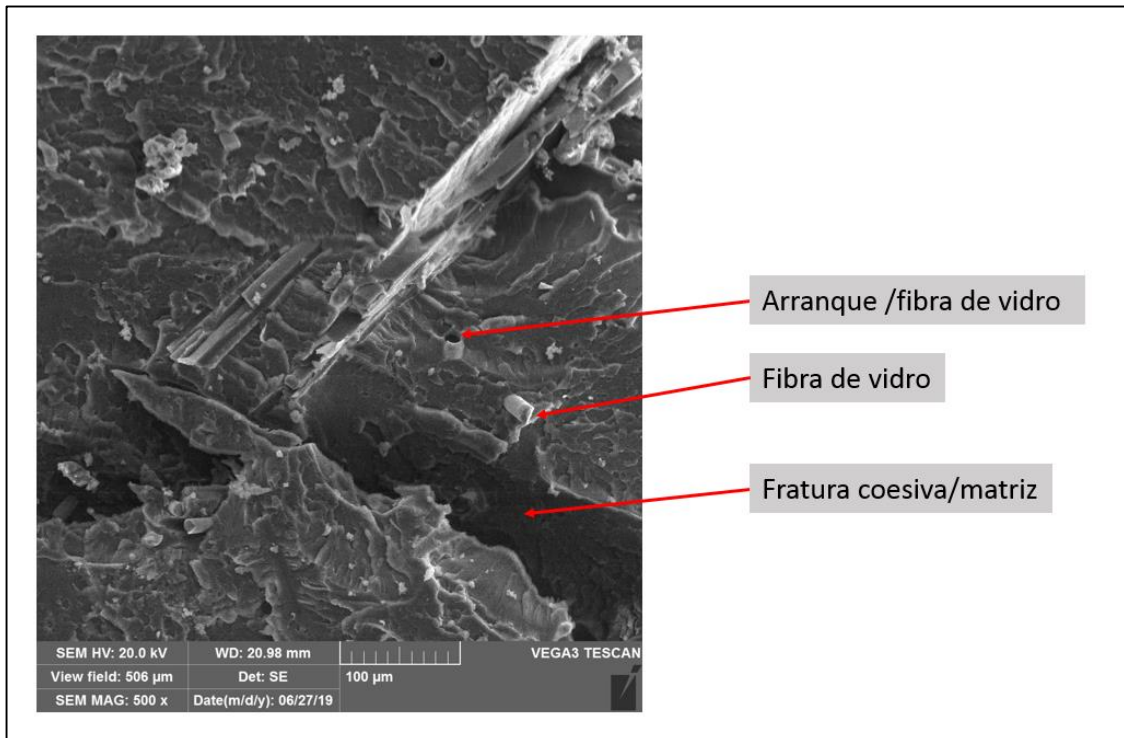


Fonte: Elaboração própria em 2019.

5.6 AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA DO PRFV

As figuras 33, 34 e 35 e 36, são referentes as imagens dos corpos de prova submetidos ao ensaio de flexão em três pontos para MR 20, MR 30 e MR 40, respectivamente. O compósito MR 20, apresentou fratura coesiva na matriz e também foi detectado arranque de fibra apesar de todo o material ter sido triturado, sendo evidenciado pela presença de orifício na matriz, ver figura 33.

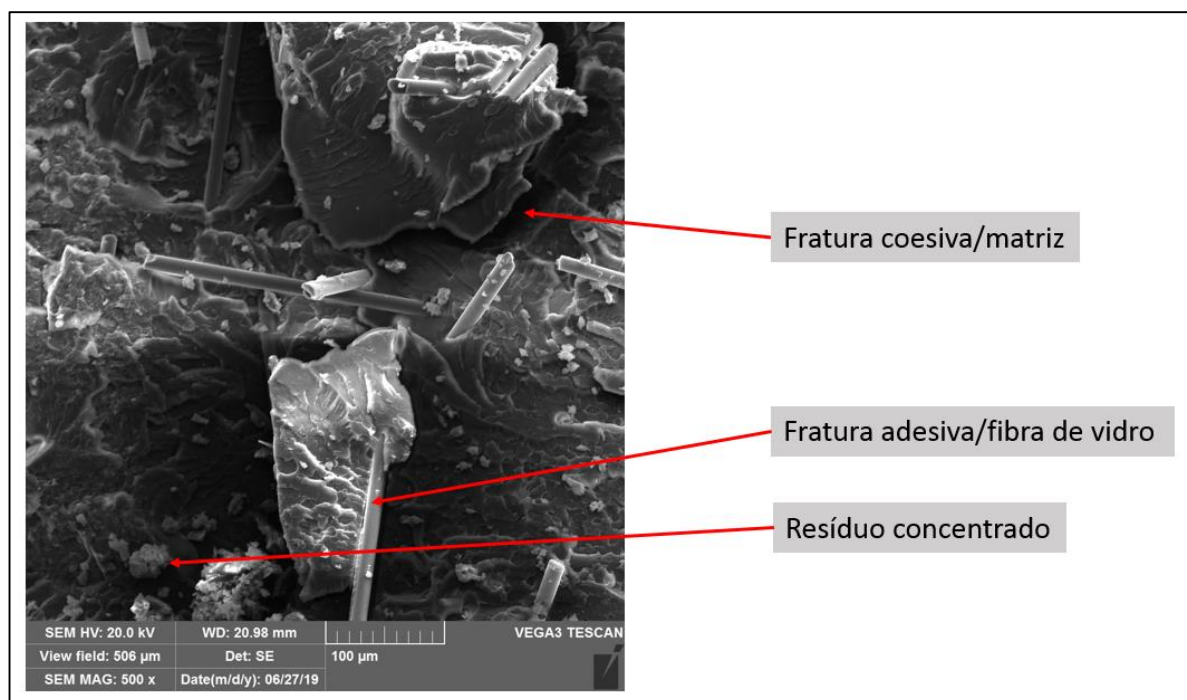
Figura 33 - Característica da fratura final do compósito MR 20.



Fonte: Elaboração própria em 2019.

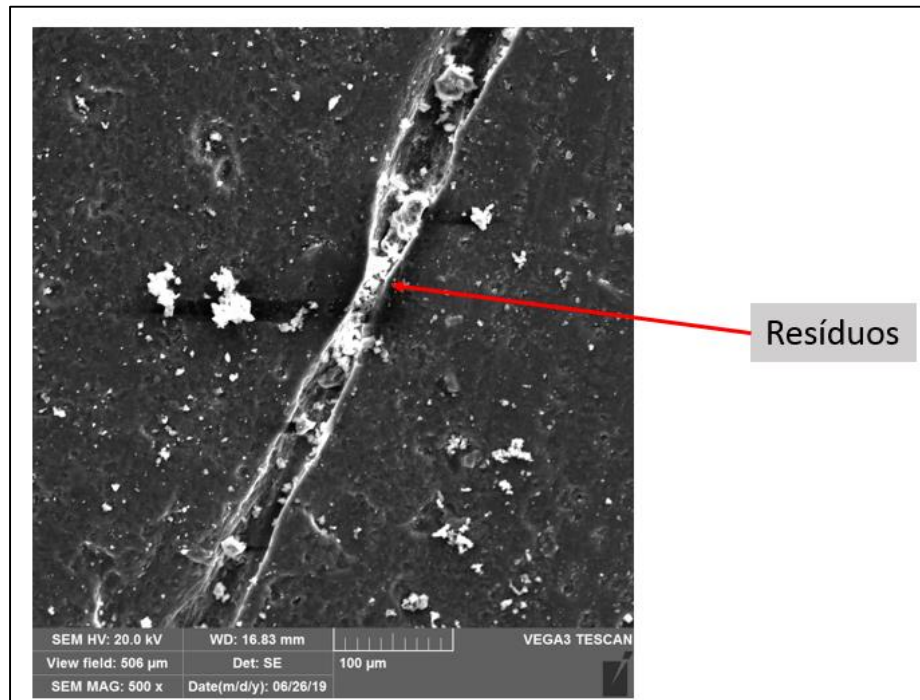
Para o compósito MR 30 é possível observar, conforme figura 33 uma fratura coesiva na matriz e nas figuras 34 e 35 observam-se uma concentração de resíduos PRFV provocando uma fratura sendo evidenciada na figura 35, isso é justificado devido à granulometria do resíduo triturado e a sua distribuição não uniforme, como afirmado por Mantovani (2017); justificando inclusive a queda da resistência a flexão quando comparado com o MR40.

Figura 34 - Característica da fratura final do compósito MR 30.



Fonte: Elaboração própria em 2019.

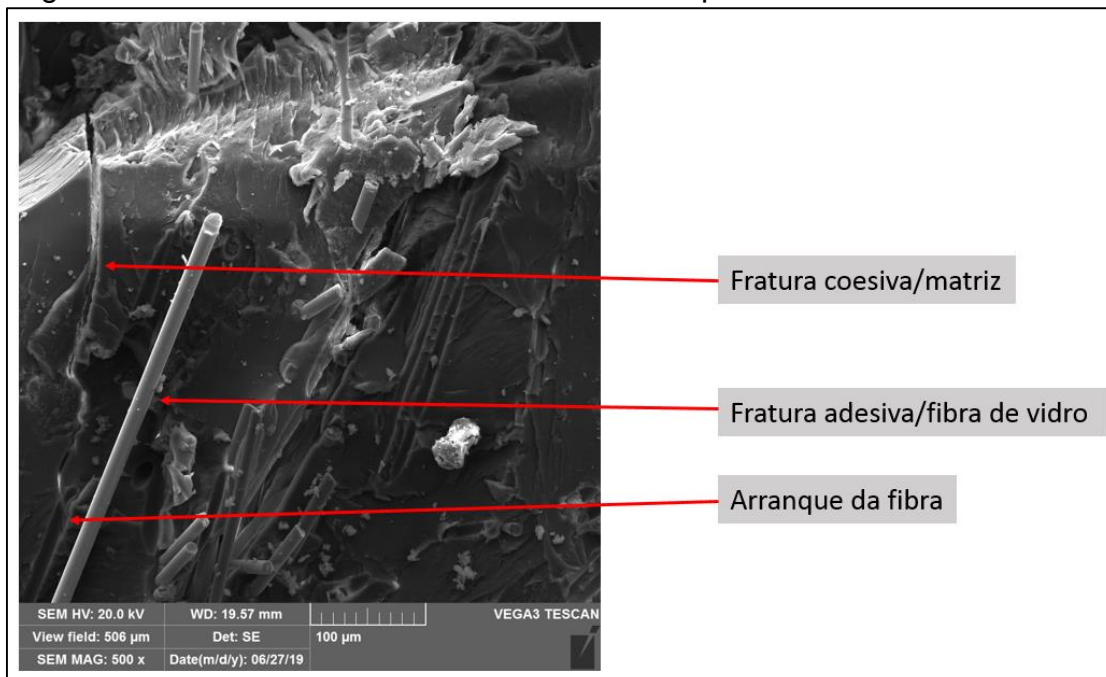
Figura 35 - Concentração de resíduo no compósito MR 30.



Fonte: Elaboração própria em 2019.

Na figura 36, para o compósito MR 40 pode-se ver com evidência a desaderência fibra / matriz e a presença de sulco caracterizando arranque de fibra. Isso parece ser uma consequência da tensão interfacial de cisalhamento relativamente baixa associadas à interação do tamanho das fibras com uma matriz polimérica conforme atribuído por Silva (2014).

Figura 36 - Característica da fratura final do compósito MR 40.



Fonte: Elaboração própria em 2019

6 CONCLUSÃO

- O resíduo de PRFV foi classificado de acordo com as normas ambientais, em separado, considerando a composição dos materiais, sendo a resina poliéster classe I (perigoso) e a fibra de vidro, classe II A.
- Não houve aumento quanto a absorção de umidade nos corpos de prova MR 20, MR 30 e MR 40.
- O tempo de saturação do novo compósito no teste de absorção de umidade foi de aproximadamente 3 meses.
- A densidade do material não foi afetada com a inserção do resíduo;
 - Os corpos de prova MR 20, MR 30 e MR 40 apresentaram desempenho mecânico de flexão de modo uniforme, no entanto não houve proporcionalidade da inserção do resíduo para um desempenho mecânico superior; sendo que o compósito MR 40 apresentou uma maior resistência à flexão, maior módulo e consequentemente menor deformação.
 - Os corpos de prova MR 20 e MR 40 apresentaram desempenho linear para os ensaios realizados quando considerado a inserção de resíduo, no entanto o MR 30 apresentou comportamento inesperado em relação as propriedades mecânicas e estruturais avaliadas. A avaliação morfológica demonstrou a possibilidade do tamanho das partículas presentes ter influenciado o desempenho satisfatório do material nos testes.
 - Em linhas gerais o material apresentou uma possibilidade considerável de ser utilizado ao fim pretendido: na forma de massa plástica usada para reforço nas bordas de piscinas. Considerando a reciclagem como fator preponderante, já que o material utilizado para formação do compósito é oriundo da própria indústria, assim contribui para a minimização de impactos ambientais que os resíduos podem gerar em seu descarte.

7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Analisar o comportamento mecânico desses compósitos após absorção de umidade, já que a proposta é usar como material de enchimento em pontos específicos numa piscina.
- Fazer um estudo de caso, utilizando as mesmas composições com material utilizado na parte interna das piscinas, como massa plástica.
- Análise do tamanho de partículas do resíduo em PRFV quanto a interferência no desempenho mecânico e nas propriedades estruturais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004** - Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3878-15**: standard Terminology for Composite Materials. USA: ASTM, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5229-04**: standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. USA: ASTM, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D790-10**: standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. USA: ASTM, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D792-13**: standard test methods for density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement. USA: ASTM, 2013.

ASOKAN, P.; OSMANI, Mohamed; PRICE, Adf. Improvement of the mechanical properties of glass fibre reinforced plastic waste powder filled concrete. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 4, p.448-460, 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.017>.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química - Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

BAJRACHARYA, R. MANALO, A. C.; KARUNASENA, W.; LAU, K. Durability characteristics and property prediction of glass fibre reinforced mixed plastics composites, **Composites Part B: Engineering**, v. 116, p. 16-29, mar. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836816317905>. Acesso em: 24 jan. 2018.

BIEK, L.; BAYLEY, J. Glass and other vitreous materials. **Journal World Archaeology**, Inglaterra, 15 jul. 2010. p. 25.

BRAINER, S.; BRITO. *et al.* Implantação do projeto papa-pilhas: recolhimento de pilhas e baterias esgotadas no município de Caruaru/PE. *In: ENCONTRO PERNAMBUCANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS*, 6, 2017, Recife. **Anais...Recife**: Editora Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017. p. 10.

BRASIL. Resolução nº313, de 29 de outubro de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder executivo, Brasília, DF, 22 nov. 2002.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2010 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 4 de abr. 2018.

CASTRO, A. *et al.* Sustainable waste recycling solution for the glass fibre reinforced polymer composite materials industry. **Construction and Building Materials** v.45, p. 87- 94, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061813003024>. Acesso em: 20 mar. 2019.

CASTRO, A. *et al.* An integrated recycling approach for GFRP pultrusion wastes: recycling and reuse assessment into new composite materials using Fuzzy Boolean Nets, **Journal of Cleaner Production**, v. 66, 2014. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613007105>>. Acesso em: 24 jan. 2018. p. 420-430.

CHANDA, Manas; ROY, Salil K. . **Industrial Polymers, Specialty Polymers, and Their Applications**. Boca Raton: Crc Press, 2008. p. 432.

DAMASCENO, J. *et al.* **Materiais Compósitos com Matriz Cerâmica**. 2011. Monografia (Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

DEHGHAN, A. An overview of mechanical properties and durability of glass-fibre reinforced recycled mixed plastic waste composites, **Materials and Design**, v. 62, p. 98–102, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306914003562> . Acesso em: 24 jan. 2018.

DOMINGOS. Y. S. **Avaliação do envelhecimento ambiental do compósito polimérico na estação de tratamento de efluentes do sistema central de Natal-RN-Brasil**. 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado em Uso Sustentável dos Recursos Naturais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2017.

Farinha, C. B. Brito, J. Veiga, R. Assessment of glass fibre reinforced polymer waste reuse as filler in mortars, **Journal of Cleaner Production**, v. 2010, p. 1579-1594, maio. 2019.

FELIPE, R. C. T. S. **Envelhecimento ambiental acelerado em PRF a base de tecidos híbridos kevlar/vidro**: propriedades e instabilidade estrutural. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

FELIPE, R. C. T. S. *et al.* Polymer composites reinforced with hybrid fiber Fabrics. **Materials Research**. v. 20, n. 2, p. 555-567, 2017.

FELIPE, R. C. T. S *et al.* Influence of environmental aging in two polymer-reinforced composites using different hybridization methods: Glass/Kevlar fiber hybrid strands and in the weft and warp alternating Kevlar and glass fiber strands. **Composite Part B**, v. 174, p. 1-16, 2019.

FERREIRA, J. A. *et al.* Comparação das resistências mecânicas do compósito resina poliéster/fibra de coco e madeiras brasileiras de usos estruturais. **Engevista**, v. 19, n.5, p. 1364-1375, fev. 2017.

FIORELLI, Juliano *et al.* Utilização de FRP para reforço de vigas de madeira. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Editora ANTAC, 2002. p. 8. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1859_1866.pdf. Acesso em: 12 mar. 2018.

GARCÍA, D.; VEGAS, I.; CACHO, I. Mechanical recycling of GFRP waste as short-fiber reinforcements in microconcrete. **Construction And Building Materials**, v. 64, p. 293-300, ago. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.068>. Acesso em: 24 jan. 2018.

G HARDE, S.; KANDASUBRAMANIAN, B. Mechanochemical and chemical recycling methodologies for the Fibre Reinforced Plastic (FRP). **Environmental technology & innovation**, v. 14, p.410-499, maio 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2019.01.005>. Acesso em: 24 jun. 2019.

GUERRERO, Patrícia Carla *et al.* Caracterização e reciclagem via pirólise de resíduos da fabricação de pás eólicas. **Holos Environment**, v. 11, 2011. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/viewFile/5627/4348>. Acesso em: 12 mar. 2018.

HULL, D.; CLYNE, T. **An Introduction to composite materials** (Cambridge Solid State Science Series). 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha *et al.* Fibras De Vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados. **Rev. elet. em gestão, educação e tecnologia ambiental** v.10, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/7590/pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

JOB, Stella. Recycling glass fibre reinforced composites – history and progress. **Reinforced Plastics**, v. 57, n. 5, p.19-23, set. 2013. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0034-3617\(13\)70151-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0034-3617(13)70151-6). Acesso em: 10 jan. 2018.

LEVY, N. F.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2016.

LIMA, G. Empresas criam tecnologias que viabilizam a reciclagem de compósitos. **Revista Global Polymers**, 2013. Disponível em <http://www.globalpolymers.com.br/not%C3%ADcias/empresas-criam-tecnologias-que-viabilizam-a-reciclagem-de-comp%C3%B3sitos>. Acesso em: 05 abr. 2018.

LORENA, E. Análise da gestão ambiental das lavanderias têxteis de Caruaru-PE. In: ENCONTRO PERNAMBUCANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 6, 2017, Recife. **Anais...** Recife: Editora Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017. p. 10. Disponível em: https://www.dropbox.com/s/lduryv08741zjnq/Epersol_2017_Res%C3%ADduos_Industriais_e_Novas_Tecnologias.pdf?dl=0. Acesso em: 02 abr. 2018.

MACEDO NETO, M. C. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de palha de aço**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

MANIRUZZAMAN, M.; MORSHED, MM. Application and Advances in Microprocessing of Natural Fiber (Jute)–Based Composites. **Comprehensive Materials Processing**, v. 7, p. 243 – 259, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/2M4VcpR>. Acesso em: 17 fev. 2018..

MANTOVANI, Dhyemila de Paula. **Estudo das Propriedades Mecânicas de Compósitos de Matriz Poliéster Reforçados com Fibras de Hemp e Biotratamento**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2017.

MAZZOLI, A.; MONOSI, S.; PLESCIA, E. S. Evaluation of the Early-Age-Shrinkage of Fiber Reinforced Concrete (FRC) Using Image Analysis Methods. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 596-601, 2015.

MOHAMAD, G. Avaliação da associação de compósito de fibra de vidro e carbono no reforço de madeira de eucalyptus in natura e autoclavada. **Revista matéria**, v. 16, p. 621 – 637. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762011000100009&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 04 mar. 2018.

NASSEH, J. **Manual de construção de barcos: métodos avançados de construção em composites e técnica e prática em laminação de composites**. 4. ed. Rio de Janeiro: Look Book, 2007. p. 380. Disponível em: https://books.google.com.br/books/about/M%C3%A9todos_Avan%C3%A7ados_de_Constru%C3%A7%C3%A3o_em_C.html?id=r1S_tQum93wC&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 16 mar. 2019.

OLIVEUX, G., DANDY, L.O., LEEKE, G.A. Current status of recycling of fibre reinforced polymers: review of technologies, reuse and resulting properties. *Prog. Mater. Sci.* 72, p. 61 e 99, 2015.

ORTH, C. M.; BALDIN, N.; ZANOTELLI, C. T. A geração de resíduos sólidos em um processo produtivo de uma indústria automobilística: uma contribuição para a redução. **Revista Gestão e Produção**. v. 21, p. 447-460, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2014000200016&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 11 de março de 2018.

PINHEIRO, M. **Compósitos avançados reforçados com fibras naturais para construção**. 2008. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) - Universidade do Aveiro, 2008.

PINTO, K. **Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2002.

PORTELLA, M. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Revista Direito Ambiental e sociedade**, v. 4, p. 115-134, 2014. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/3687>. Acesso em 25 mai. 2018.

RIBEIRO, M.C.S. Faculty re-use assessment of thermoset composite wastes as aggregate andfiller replacement for concrete-polymer composite materials: A case study regarding GFRP pultrusion wastes. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 104, p. 417-426, 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/47138449.pdf>. Acesso em 24 mai. 2018.

RODA, Daniel Tietz. **Tudo sobre Plásticos**. Disponível em: <http://www.tudosobreplasticos.com/compostos/compostos.asp>. Acesso em: 02 fev. 2018.

SENTHILKUMAR, K. Mechanical properties evaluation of sisal fibre reinforced polymer composites: A review. **Construction and Building Materials**, v. 174, p. 713-729, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818309504>. Acesso em: 24 mai. 2018.

SERCEL, Soluções em Fibras -. **Resina poliéster: tudo o que você precisa saber**. 2015. Disponível em: <http://www.sercel.com.br/blog/resina-poliester.html>. Acesso em: 05 jun. 2019.

SEVALD, R. Produção mais limpa aplicada ao processo de fabricação de peças em compósitos de resina poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro. **ENGEVISTA**, v. 14, p. 267-280, 2012. Disponível em: <http://periodicos.uff.br/index/index>. Acesso em: 13 jun. 2018.

SILVA, Isabela Leão Amaral da. **Propriedades e Estrutura de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Contínuas de Juta**. 2014. 110 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

SHUAIB, A.; MATIVENGA, T. P. Energy Demand in Mechanical Recycling of Glass Fibre Reinforced Thermoset Plastic Composites. **Journal of Cleaner Production**, v. 120, p. 198-206, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616001190>. Acesso em: 14 jan. 2018.

SHUAIB, A.; MATIVENGA, T. P. Effect of process parameters on mechanical recycling of glass fibre thermoset composites. **23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering**, v. 48, 2016b. Disponível em; www.sciencedirect.com. Acesso em: 12 mai. 2019. p.

VENZON, J. Resíduos sólidos industriais e seu potencial para a produção de compósitos – Uma revisão de literatura. **Revista Educação Ambiental em Ação**, v. 62, 2018. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=3024>. Acesso em: 1 jul. 2018.

APÊNDICE – PRODUTO FINAL DA PESQUISA

Produto Final: Massa plástica produzida com a utilização de resíduos de Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV)


O desenvolvimento de uma alternativa de reciclagem com a fabricação de uma massa plástica utilizando resíduos de plástico reforçado com fibras de vidro advindos do processo industrial de fabricação de piscinas é destaque no presente trabalho, sendo o resíduo de PRFV um material que pode contribuir no agravamento de impactos ao meio ambiente quando não processado adequadamente como resíduo industrial. Dessa maneira, a aplicação de tecnologias que priorizem a logística reversa é necessária.

O resíduo de PRFV como base para a formação de um novo compósito a ser utilizado pela própria indústria tem como finalidade o preenchimento de bordas de piscinas. A necessidade do tipo de aplicação surgiu quando em visita técnica à indústria foi observado que há uma geração de resíduos de PRFV, que é enviado para um aterro industrial, desse modo há geração de custos de descarte oriundos do envio, além de não haver o conhecimento por parte da empresa sobre o tipo de tratamento atribuído para o resíduo.

A reinserção do resíduo de PRFV na própria indústria possibilita a reciclagem do material com contribuição direta quanto às questões ambientais e contribui na redução de custos de descarte.

ANEXO – SUBMISSÃO DO ARTIGO – JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION


← → ↻ 🏠 <https://ees.elsevier.com/jclepro/default.asp>

Journal of Cleaner Production Contact us ✉ Help ? 

[home](#) | [main menu](#) | [submit paper](#) | [guide for authors](#) | [register](#) | [change details](#) | [log out](#) Username: [lianaviana17@yahoo.com.br](#)
Switch To: Go to: [My EES Hub](#)

Author's Decision

Thank you for approving "RECYCLING OF FIBERGLASS REINFORCED PLASTIC RESIDUES IN THE POOL INDUSTRY". An email has been sent to you confirming that the journal has received this submission. Your Co-Author(s) may also receive this email, depending on the journal policy.

 Mendeley To keep track of how your article is performing [get your Author stats on Mendeley](#)

[Main Menu](#)

← Voltar ↩ ⏪ ⏩ →

 Arquivar  Mover  Apagar  Spam ...

▲ ▼ ✕

• Thank you for your submission to Journal of Cleaner Production

Yahoo/Entrada ★



JCLP <eesserver@eesmail.elsevier.com>
Para: lianaviana17@yahoo.com.br, liholanda7@gmail.com

 11 de ago às 20:02 ★

*** Automated email sent by the system ***

Dear Miss Barros,

Thank you for sending your manuscript RECYCLING OF FIBERGLASS REINFORCED PLASTIC RESIDUES IN THE POOL INDUSTRY for consideration to Journal of Cleaner Production. Please accept this message as confirmation of your submission.

When should I expect to receive the Editor's decision?

For Journal of Cleaner Production, the average editorial time (in weeks) from submission to first decision is: 9.73 and from submission to final decision is: 20.35.

What happens next?

Here are the steps that you can expect as your manuscript progresses through the editorial process in the Elsevier Editorial System (EES).

1. First, your manuscript will be assigned to an Editor and you will be sent a unique reference number that you can use to track it throughout the process. During this stage, the status in EES will be "With Editor".

2. If your manuscript matches the scope and satisfies the criteria of Journal of Cleaner Production, the Editor will identify and contact reviewers who are acknowledged experts in the field. Since peer-review is a voluntary service, it can take some time but please be assured that the Editor will regularly remind reviewers if they do not reply in a timely manner. During this stage, the status will appear as "Under Review".

Once the Editor has received the minimum number of expert reviews, the status will change to "Required Reviews Complete".

3. It is also possible that the Editor may decide that your manuscript does not meet the journal criteria or scope and that it should not be considered further. In this case, the Editor will immediately notify you that the manuscript has been rejected and may recommend a more suitable journal.

For a more detailed description of the editorial process, please see Paper Lifecycle from Submission to Publication: http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/160/p/8045/

How can I track the progress of my submission?

You can track the status of your submission at any time at <http://ees.elsevier.com/JCLEPRO>

Once there simply