



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

RAFAELA JORDANIA MARINHO FRANÇA

**PROPRIEDADES MECÂNICAS À TRAÇÃO: ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA
INSERÇÃO DE PÓ DE PEDRA EM PRFV**

CARAÚBAS-RN

2019

RAFAELA JORDANIA MARINHO FRANÇA

**PROPRIEDADES MECÂNICAS À TRAÇÃO: ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA
INSERÇÃO DE PÓ DE PEDRA EM PRFV**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Ana Claudia de Melo Caldas Batista, Profa. Dra.

CARAÚBAS-RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F337p França, Rafaela Jordania Marinho.

PROPRIEDADES MECÂNICAS À TRAÇÃO: ESTUDO DA
INFLUÊNCIA NA INSERÇÃO DE PÓ DE PEDRA EM PRFV /

Rafaela Jordania Marinho França. - 2019.

70 f. : il.

Orientadora: Ana Claudia de Melo Caldas
Batista.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2019.

1. Compósito. 2. Minério de pedra. 3. Granito.
4. Comportamento mecânico. 5. Resíduo. I. Batista,
Ana Claudia de Melo Caldas, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

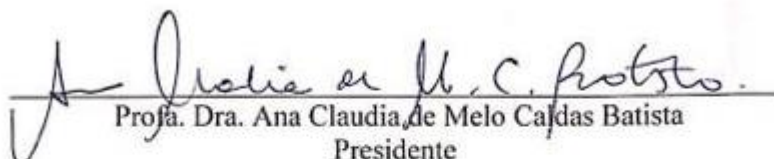
RAFAELA JORDANIA MARINHO FRANÇA

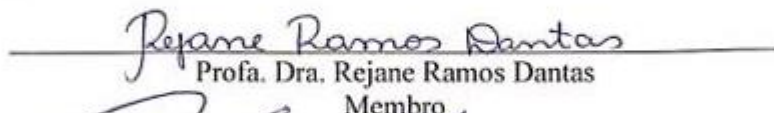
**PROPRIEDADES MECÂNICAS À TRAÇÃO: ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA
INSERÇÃO DE PÓ DE PEDRA EM PRFV**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 12 / 08 / 2019.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dra. Ana Claudia de Melo Caldas Batista
Presidente


Prof. Dra. Rejane Ramos Dantas
Membro


Prof. Me. Rafael Bezerra Azevedo Mendes
Membro

Dedico este trabalho ao meu avô, Manoel Tavares Brilhante, que sempre me incentivou a seguir minha vida acadêmica (In Memoriam).

A Deus e aos meus pais, que sempre foram meus maiores incentivadores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me conceder a oportunidade de estar aqui hoje e por me fazer persistir e acreditar, mesmo a caminhada sendo longa e árdua. Que Deus me conserve assim, forte e corajosa para lutar pelos meus sonhos e me fazer acreditar em um futuro melhor, e que um dia eu possa ter a felicidade de mudar a vida de alguém com minha profissão.

Agradeço à toda minha família, que sempre esteve comigo em todos os momentos e são os maiores e melhores motivos, que me mantem firme em busca de alcançar meus objetivos, em especial aos meus pais, Francisca Salizete Marinho França e Manoel Luiz de França Neto, e ao meu irmão João Batista Marinho França, eu amo muito vocês.

Agradeço à minha Orientadora Ana Claudia de Melo Caldas Batista, por toda paciência, dedicação e por todo conhecimento repassado. Embora tenha sido um tempo curto, mas foi o suficiente para conhecer a pessoa maravilhosa e a profissional dedicada, que ama o que faz.

Agradeço à Banca Examinadora, Rejane Ramos Dantas e Rafael Bezerra Azevedo Mendes, pela disponibilidade em avaliar meu trabalho. Profissionais que eu tive o prazer de conhecer e também de acompanhar como aluna.

Agradeço também à todos os meus amigos, a minha família UFERSA, que tive o prazer de construir durante esses anos, são muitos momentos inesquecíveis, são muitos momentos inexplicáveis e vocês fizeram parte deles junto à mim. Em especial as minhas amigas, que hoje se tornaram irmãs, Géssica Moura, Larissa Martins, Juliene Moraes e Thalia Alves. Aos meus amigos, Fabricio Alves, Sammuel Carvalho, Emanuel Andrade, Lucas Dassaev, Carlos Carvalho, Thallyson Oriel, Bruno Alves, Yago Fernandes, Joyce Almeida, Diego Aquino, Maize Melo, Thiago Ruan, Vinícius Queiroz, Maria Luiza, Felipe Bandeira e aos demais.

Agradeço também, à Engrenagem Júnior, a todos que fazem parte junto comigo desse movimento, sou muito grata por fazer parte de uma Empresa Júnior, que transforma vidas e me ensina a ser melhor a cada dia.

A todos deixo meu muito obrigada.

Nossos sonhos se concretizam a medida da
nossa fé. Quanto mais certas tivermos, mais
convicção teremos de que o que é nosso logo
virá.

Cecilia Sfalsin

RESUMO

Os recursos naturais ao longo dos anos foram extraídos intensivamente, o que tem provocado sérios problemas ambientais, devido as ações humanas inadequadas, principalmente quanto ao destino incorreto dos resíduos. A correta utilização destes resíduos se apresenta nos dias atuais, como um dos grandes desafios da sociedade. O presente estudo, abordará a utilização dos resíduos provenientes das indústrias de minério de pedra do oeste potiguar, o granito, com diferentes granulometrias, como componente na construção de um compósito com plástico reforçado com fibra e vidros (PRFV + G), com um comparativo das propriedades mecânicas deste novo material, com PRFV, para análise da influência no comportamento mecânico com a inserção deste pó. Os materiais compósitos apresentam-se na engenharia como uma técnica fundamental devido sua capacidade de junção características em um só material, assim há a necessidade da compreensão do seu comportamento frente às mais diversas condições de carga e serviços. Os compósitos confeccionados foram analisados a partir dos ensaios de tração uniaxial baseada na norma ASTM D 3039 (2014), e densidade volumétrica utilizando a norma ASTM D 792 (2008). O estudo mostrou que, o pó de pedra acarreta mudanças nas propriedades mecânicas à tração dos materiais compósitos. Dentre os compósitos com pó de granito, o melhor que se enquadrrou, apresentou uma granulometria de 53µm- 90µm.

Palavras-chave: Compósito. Minério de pedra. Granito. Comportamento mecânico. Resíduo.

ABSTRACT

Natural resources have been intensively extracted over the years, which has caused serious environmental problems due to inadequate human actions, especially regarding the incorrect destination of waste. The right use of these wastes is presented today as one of the biggest challenges of society. The present study will address the use of waste from the western potiguar stone ore industries, granite, with different particle size, as a component in the construction of a fiberglass reinforced plastic composite (PRFV + G), with a comparative of the mechanical properties of this new material, with PRFV, to analyze the influence on the mechanical behavior with the insertion of this powder. The composite materials are presented in engineering as a fundamental technique due to their characteristic joining capacity in one material, so there is a need to understand their behavior under the most diverse loading and service conditions. The composites made were analyzed from uniaxial tensile tests based on ASTM D 3039 (2014), and volumetric density using ASTM D 792 (2008). The study showed that the stone dust causes changes in the mechanical properties of the composite materials adhesion. Among the composites with granite powder, the one that framed better, presented a granulometry of 53 μ m-90 μ m.

Keywords: Composite. Stone ore. Granite. Mechanical behavior. Residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Acúmulo de pó de pedra em pedreiras.	22
Figura 2: Perspectivas do setor agregado (2015 - 2019).....	23
Figura 3: Brita em seu estado natural.....	24
Figura 4: Diferentes tipos de granitos.	26
Figura 5: Classificação dos compósitos.	29
Figura 6: Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras	30
Figura 7: (a) Tecido bidirecional de fibras de vidro; (b) Manta de fibras de vidro	31
Figura 8: Classificação do compostos fase matriz.	33
Figura 9: Classificação dos compósitos de matriz polimérica.	34
Figura 10: Fases matriz e reforço de um compósito.	37
Figura 11: Etapas de fabricação dos compósitos.	38
Figura 12: Processo <i>hand lay-up</i>	39
Figura 13: Materiais utilizados na laminação.	41
Figura 14: Gramatura.	42
Figura 15: Manta de fibra de vidro.....	42
Figura 16: Pós de granito nas granulometrias	42
Figura 17: Aplicação da cera desmoldante.	43
Figura 18: Processo de laminação da placa de resina pura.	44
Figura 19: Processo de laminação das placas com particulados de granito.....	46
Figura 20: Peneiras.....	48
Figura 21: Dimensões dos CPs para o ensaio de tração uniaxial.	49
Figura 22: Corpos de prova.....	49
Figura 23: Máquina de ensaio de tração – EMIC.....	50
Figura 24: Ensaio de tração.....	50
Figura 25: Dimensões dos CPs para o ensaio de densidade.....	51
Figura 26: CPs para ensaio de densidade.	51
Figura 27: Balança.....	52
Figura 28: Béquer com água destilada	52
Figura 29: Afundador (suporte para amostra resistente a corrosão).	52
Figura 30: Estufa.	52
Figura 31: Ensaio de densidade.....	53
Figura 32: CP imerso na água preso pelo afundador.	53

Figura 33: Comparativo das propriedades mecânicas.....	61
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tensão x Deformação para ensaio de tração uniaxial para CPs - PRFV.....	56
Gráfico 2: Tensão x Deformação para ensaio de tração uniaxial para CPs - PRFV+ $G_{53-90}^{10\%}$	58
Gráfico 3: Tensão x Deformação para ensaio de tração uniaxial para CPs - PRFV+ $G_{90-180}^{10\%}$	59
Gráfico 4: Tensão x Deformação para ensaio de tração uniaxial para CPs - PRFV+ $G_{180-90}^{10\%}$	60
Gráfico 5: Comparativo do PRFV com a inserção do pó de granito com granulometrias de (PRFV+ $G_{53-90}^{10\%}$, PRFV+ $G_{90-180}^{10\%}$ e PRFV+ $G_{180-90}^{10\%}$).....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Diferenças entre os termorrígidos e os termoplásticos.	35
Quadro 2: Compósitos fabricados.....	47
Quadro 3: Especificações das peneiras utilizadas para ensaio granulométrico.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: A brita e suas granulometrias.	24
Tabela 2: Propriedades da resina de poliéster.	36
Tabela 3: Espessuras dos CPs.	54
Tabela 4: Densidade volumétrica.	55
Tabela 5: Propriedades mecânicas dos CPs - PRFV.	57
Tabela 6: Propriedades mecânicas dos CPs - PRFV+ $G_{53-90}^{10\%}$	58
Tabela 7: Propriedades mecânicas dos CPs - PRFV+ $G_{90-180}^{10\%}$	59
Tabela 8: Propriedades mecânicas dos CPs - PRFV+ $G_{180-300}^{10\%}$	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CPs	Corpos de Prova
PRFV	Plástico Reforçado por Fibra de Vidro
PRFV + G	Plástico Reforçado por Fibra de Vidro adicionado Granito

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
2.	OBJETIVOS	19
2.1.	Objetivo Geral	19
2.2.	Objetivos Específicos.....	19
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1.	Impactos ambientais proporcionados pelos resíduos sólidos	20
3.2.	As pedreiras - Importância econômica e impactos ambientais	22
3.2.1.	Granito.....	24
3.3.	Áreas de aplicabilidade do pó de pedra.....	27
3.4.	Materiais compósitos.....	28
3.4.1.	Reforço	28
3.4.1.1.	Fibrosos	29
3.4.1.2.	Particulados	32
3.4.2.	Matriz	32
3.4.2.1.	Matriz Polimérica	34
3.4.2.1.1.	Poliéster	36
3.5.	Processos de fabricação de compósitos poliméricos	37
3.5.1.	Processo de fabricação manual <i>hand-lay-up</i>	38
3.6.	Fatores que influenciam o comportamento mecânico dos compósitos	39
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
4.1.	Materiais utilizados em laminados compósitos.....	41
4.2.	Laminação do material compósito	43
4.2.1.	Preparação do molde e das fibras	43
4.2.2.	Laminação da placa de resina pura.....	43
4.3.	Ensaio realizado.....	47
4.3.1.	Granulometria.....	47

4.3.2.	Ensaio de tração e preparação dos corpos dos CPs	48
4.3.3.	Ensaio de densidade e preparação dos CPs	50
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1.	Espessura dos corpos de provas	54
5.2.	Densidade	54
5.3.	Ensaio de tração uniaxial.....	56
5.3.1.	PRFV	56
5.3.2.	PRFV+G ^{10%} ₅₃₋₉₀	57
5.3.3.	PRFV+G ^{10%} ₉₀₋₁₈₀	58
5.3.4.	PRFV+G ^{10%} ₁₈₀₋₃₀₀	59
5.4.	Comparativo do PRFV com diferentes granulometrias	60
6.	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

Com a sociedade frente a um processo de desenvolvimento acelerado, a preservação do meio ambiente tem se mostrado uma preocupação. Garantir uma harmonia entre o meio ambiente, a sociedade e a economia é primordial para satisfação das necessidades do presente, sem que haja comprometimento do desenvolvimento das gerações futuras, promovendo assim o progresso de uma sociedade baseada nos princípios da sustentabilidade (ABNT, 2015).

Os recursos naturais ao longo dos anos foram extraídos intensivamente, o que tem provocado sérios problemas ambientais, devido as ações humanas inadequadas. Boa parcela deste comportamento humano está totalmente atrelada ao destino incorreto dos resíduos provenientes das variadas atividades. Para Andreoli *et al.* (2014) “os resíduos sólidos são gerados a partir de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de varrição entre outras e podem ser utilizados como matéria-prima”.

A indústria de minério de pedra, importante atividade desenvolvida na região oeste do Estado do Rio Grande do Norte, se tratando da produção de resíduos sólidos, proporciona grandes problemas ambientais. As pedreiras em seu processo produtivo a partir da pedra bruta, produzem o pó da pedra, material proveniente do britamento de pedras, o qual não é muito utilizado em outras atividades e acaba ocupando áreas ao redor das indústrias, provocando assim, vários problemas no meio ambiente.

Segundo Bacci *et al.* (2006), o desgaste ambiental acontece durante todo o processo de exploração dos minerais, que vai desde a retirada do material a partir de escavações, o que retira a vegetação mudando a paisagem natural; a degradação da pedra, com o uso de explosivos que geram gases, ruídos e o lançamento de fragmentos; assim como também no transporte e beneficiamento do minério, o que leva o surgimento de poeira que proporciona a poluição da água, solo, ar e a população da área explorada.

A correta utilização de resíduos se apresenta, nos dias atuais, como um dos grandes desafios da sociedade. Ao considerar nosso planeta como um sistema fechado, é notório que os resíduos sólidos deveriam ser considerados, as matérias primas para a confecção de outros bens, dessa forma, estariam prevenindo a exploração desenfreada dos recursos naturais existentes, que por sua vez, encontram-se cada vez mais escassos (ANDREOLI *et al.*, 2014). Como forma de resolver a problemática mencionada, surge uma possível utilização desse material, o pó da pedra, em alguns processos industriais, presentes na literatura, como o trabalho de Nascimento (2015), em compósito de matriz polimérica utilizando cargas minerais.

É notório que “a crescente demanda na utilização de materiais compósitos torna imprescindível uma melhor compreensão do seu comportamento frente às mais diversas condições de carga e serviços” (TINÔ, 2010). Além do comportamento, é essencial o conhecimento das características estruturais dos materiais, uma vez que poderá haver uma melhor aplicabilidade destes, além da possível manipulação das características desejadas em um só material.

A utilização deste tipo de material se apresenta na engenharia como uma técnica fundamental, pois este vem possibilitando a criação de propriedades a partir da união de dois ou mais materiais distintos, propriedades estas capazes de satisfazer as necessidades das áreas médica, aeronáutica, indústria têxtil, naval e petróleo (SILVA, 2013).

O presente trabalho, abordará a utilização do granito, resíduo oriundo das indústrias de minério de pedra do oeste potiguar, com diferentes granulometrias, como componente na construção de um compósito com plástico reforçado com fibra de vidros (PRFV). O PRFV foi escolhido para inserir o pó de pedra devido a sua maior utilização em compósitos, por apresentar fácil combinação a outros materiais, além de ser de fácil manuseio e de baixo custo. Além disso, o trabalho ainda propõe um comparativo das propriedades mecânicas desse novo material, incluindo o pó da pedra, com PRFV, uma vez que será visto se o material adicionado agregará valor ao novo produto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Estudar a influência nas propriedades mecânicas em compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro e resíduos sólidos provenientes das indústrias de minério de pedra do oeste potiguar (pó de granito), comparando com um PRFV, buscando assim, viabilizar a utilização do pó, diminuir seu acúmulo e minimizar os efeitos dos impactos ambientais provocados.

2.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver um PRFV (resina poliéster e manta de fibra de vidro);
- Confeccionar novos materiais compósitos com frações de 10% granito (em relação a massa da resina) com granulometrias de (53 μ m - 90 μ m; 90 μ m - 180 μ m e 180 μ m - 300 μ m), resina de poliéster e manta de fibra de vidro;
- Determinar a densidade dos materiais propostos;
- Realizar o ensaio mecânico de tração uniaxial nos materiais fabricados;
- Estudar as propriedades dos compósitos propostos; e
- Comparar as propriedades mecânicas do compósito com matriz de poliéster e reforço de fibra de vidro e o mesmo PRFV com adição dos reforços particulados, pó de granito com granulometrias de (53 μ m - 90 μ m; 90 μ m - 180 μ m e 180 μ m - 300 μ m).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será abordado os impactos ambientais proporcionados pelo destino errôneo dos resíduos provenientes de atividades industriais, em particular, as pedreiras do oeste potiguar, dando ênfase ao granito. Também será estudada a forma como esses rejeitos podem ser utilizados em alguns materiais, como nos compósitos, buscando características que sejam úteis; assim como entender o que são os materiais compósitos; sua classificação; como se dá seu processo de fabricação, além dos fatores que influenciam o comportamento mecânico destes.

3.1. Impactos ambientais proporcionados pelos resíduos sólidos

O meio ambiente pode ser compreendido como o espaço em que o homem está inserido, assim como o que o cerca e integra para a construção de um processo interativo em constante evolução. Este sofre forte influência tanto dos fatores externos, como flora e fauna, como também dos internos, as ações e comportamento humano na manipulação dos recursos naturais, bem como nas mudanças culturais influenciadas por mudanças de valores propostas pela própria sociedade (PEREIRA & CURI, 2012).

Na origem da sociedade, existia um equilíbrio mútuo entre o homem e a natureza, que o ritmo de trabalho e da vida dos homens acompanhavam o ritmo da natureza, mas com o modo de produção capitalista, esta relação é quebrada, e o que antes era um meio de subsistência do homem, passou a constituir os meios de produção pelo qual o sistema capitalista ganha vantagem (KRZYSCZAK, 2016).

A partir das novas descobertas feitas, o homem passou a aprimorar técnicas e produtos e a diversificar seus hábitos, mudar seus comportamentos, além de produzir uma maior quantidade de resíduos e por consequência disso surge a poluição do ambiente, o que traz grandes riscos à saúde pública, devido a destinação errônea final destes resíduos gerados (COSTA, 2011).

Qualquer modificação, adversa ou benéfica realizada no âmbito, de forma direta ou indireta, do aspecto ambiental, é considerado um impacto ambiental (ABNT, 2004). Os resíduos são gerados a partir do desenvolvimento das várias atividades vivenciadas pelo homem, dentre elas, as sociais, residenciais, comerciais, industriais, entre outras e a forma como estes são eliminados no meio ambiente, é preocupante (COSTA, 2011).

De acordo com os princípios éticos, surge neste meio um novo modelo de proteção ao meio ambiente, a sustentabilidade, baseada na utilização dos recursos naturais apenas para satisfação das necessidades do ser humano, sendo a crise nesse meio, a consequência da exploração destes recursos limitados, para satisfação das necessidades limitadas do homem (SPAREMBERGUER E SILVA, 2005).

Um dos maiores desafios da sociedade, nos dias atuais, é o conhecimento da correto destino, utilização e aplicação destes resíduos gerados, como uma tentativa de sessar ou minimizar os problemas ambientais vigentes (COSTA, 2011).

Segundo Luz (2008), nos dias atuais, a produção de resíduos industriais têm gerado muitos problemas ambientais provocados pelo seu descarte indevido, seja por falta de iniciativas ou por questões econômicas, e assim, medidas que estimulem e reduzam os custos ambientais para o reaproveitamento desses materiais são fundamentais, em parceria com políticas de conscientização que visem mudar o comportamento em larga escala no que se refere ao tratamento dos resíduos sólidos industriais.

A busca pela minimização dos problemas socioambientais ocasionados pela eliminação e destino inadequado ou pela própria inexistência de tratamentos corretos dos resíduos sólidos, que tem levantado grandes discussões e movimentações na busca de formas que possam proporcionar um equilíbrio do meio ambiente, ou seja, a busca pela implementação e conscientização do ser humano a agir na natureza de forma sustentável (COSTA, 2011).

Se tratando da produção de resíduos sólidos industriais, um bom exemplo a ser mencionado no Nordeste, mais precisamente no Estado do Rio Grande do Norte, são as pedreiras, que através do seu processo produtivo geram uma grande produção de resíduos sólidos, o pó de pedra.

Na exploração de pedreiras há produção destes rejeitos, o pó de pedra, este pode ser caracterizado como sendo uma areia média, que atualmente, não há valor fixo para sua comercialização, por ser considerada um material marginal, se concentrando nos pátios das pedreiras, construindo assim aglomerados que propiciam grandes impactos ambientais (MENOSSESI *et al.*, 2004). A Figura 1 mostra o acúmulo do pó de pedra em pedreiras.

Figura 1: Acúmulo de pó de pedra em pedreiras.



Fonte – Moraes *et al.* (2018).

3.2. As pedreiras - Importância econômica e impactos ambientais

A exploração mineral é uma das atividades de grande relevância na economia do país, a qual tem se destacado tanto pela geração de empregos, como também por ser uma importante fonte de renda extra para pequenos proprietários rurais, principalmente em áreas onde não há um bom desenvolvimento de melhoria social, contudo é uma atividade que provoca grandes impactos ambientais, muitos desses irreversíveis (BACCI *et al.*, 2006).

A mineração contribui de forma significativa para a melhoria da qualidade de vida da sociedade, tanto das presentes como das futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento da sociedade, mas que seja realizada com responsabilidade social, baseada no desenvolvimento sustentável, dessa forma, é fundamental ter o devido conhecimento e controle os impactos ambientais ocasionados por esta atividade, para que assim as futuras gerações não possam ser prejudicadas (SILVA, 2007).

Segundo Cabral *et al.* (2012), esta atividade, de acordo com a visão ambiental, é caracteristicamente insustentável, pois para que possa ser realizada, é essencial, extrair os recursos naturais do meio, o que pode provocar o desgaste da área, uma vez que dificilmente existe a reposição do recursos extraído. Dessa forma, há várias técnicas que visam reduzir estes impactos, como o cuidado e manutenção da cobertura vegetal, assim como também o controle da poluição sonora e disposição de dejetos e o correto descarte ou utilização dos resíduos gerados.

Com os problemas encontrados nas pedreiras, se torna evidente a necessidade de solucionar os impactos gerados pelo acúmulo de resíduos provenientes do processo de lavagem

da brita, uma vez que nos dias atuais a utilização desses resíduos em outros processos industriais é mínima, as empresas tem que armazenar o material em sua área, o que provoca uma série de danos, tais como: poluição visual, poluição atmosférica, poluição hídrica e problemas de saúde ao trabalhador e população circunvizinha (LUZ, 2008).

De acordo com Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Produção (ANEPAC, 2016), o setor de agregados para construção apresentou no período de 2000 a 2014, um crescimento médio de 6,2% ao ano, em 2015 sofreu uma queda de cerca de 30%, com uma produção de 519 milhões de toneladas. No período de 2016 à 2019, estima-se uma queda de 5% em 2016 em relação a 2015, decrescendo para 493 milhões de toneladas e mantendo-se a mesma quantidade em 2017, tendo um aumento de 3% para 2018 e 7% para 2019, respectivamente, atingindo assim 543 milhões de toneladas em 2019, como mostra a Figura 2. O mercado brasileiro de agregados, principalmente a pedra britada, areia e cascalho, apresenta-se entre os diferentes países e regiões no mundo, com uma grande demanda desses minerais (ANEPAC, 2016).

Figura 2: Perspectivas do setor agregado (2015 - 2019).



Fonte – ANEPAC (2016).

Baseado no Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e na Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Produção (ANEPAC), Poletto (2006) diz que no desenvolvimento exploratório de pedras, mais precisamente a brita, são utilizados vários tipos de rochas, quanto ao Brasil, as mais comuns são: granito, calcário e basalto. Entre estas, o granito será a rocha estudada, uma vez que esta é uma das mais comuns no médio oeste potiguar. A brita em seu estado natural é ilustrada na Figura 3.

Figura 3: Brita em seu estado natural.

Fonte – Material de construção RJ¹.

Na última etapa do processamento da brita, esta passa por uma seleção de acordo com seu tamanho. Assim, a partir da sua granulometria, o material é direcionado para distintas utilizações, como na área da construção civil, na produção de concretos, argamassas e entre outros produtos (MORAES, 2018). A Tabela 1 mostra a brita e suas diferentes granulometrias.

Tabela 1: A brita e suas granulometrias.

Pedra	Tamanho (mm)
Pó de Pedra	Menor que 4,8
Brita 0 ou Pedrisco	De 4,8 a 9,5
Brita 1	De 9,5 a 19
Brita 2	De 19 a 25
Brita 3	De 25 a 50
Brita 4	De 50 a 76

Fonte - Adaptada de Ministério de Minas e Energias.

3.2.1. Granito

O granito é definido como um conjunto abrangente de rochas silicáticas, incluindo monzonitos, granodioritos, charnockitos, sienitos, dioritos, basaltos e os próprios granitos gerados através da fusão de materiais crustais (proveniente da crosta da terra), que na sua composição mineralógica associa muitos minerais como: quartzo, feldspato, micas (biotita e muscovita), e anfibólios (hornblenda) (SILVA *et al.*, 2015). O autor também diz que de acordo com suas características geológicas, o granito é considerado a rocha magmática intrusiva; de textura fanerítica, ou seja, de possível visualização dos cristais individuais a olho nu; equigranular; cujos minerais essenciais são: feldspato potássico, plagioclásio (oligoclásio) e

¹ Disponível em: <<https://materialdeconstrucao.rj.com.br/produto/pedra-brita-2/>> Acesso em maio de 2019.

quartzo, além de muscovita e biotita e minerais acessórios como apatita, magnetita, zircão, rutilo, etc.

O granito apresenta-se entre as rochas ornamentais como as mais importantes no mercado, as quais podem ser aplicadas em áreas externas e interna da construção civil, apresenta uma maior resistência comparada ao mármore, e sua coloração não é influenciada ao entrar em contato com os fatores ambientais, como a chuva ácida, sendo os granitos coloridos materiais muito requisitados no mercado, considerada desde a antiguidade um material de luxo na construção (SANTIAGO *et al.*, 2011).

Segundo Silva *et al.* (2015) existe uma variedade de granitos, devido as diversas cores que estes podem apresentar, entre eles: branco, vermelho, rosa, amarelo, azul, verde, preto e cinza, além dos diversos, ilustrados na Figura 4, os quais sua coloração é determinada de acordo com a cor dos minerais constituintes ou a influência do intemperismo, entre eles as rochas mais utilizadas são as de granulometria grossa com textura equidimensional sem orientação, contudo, em alguns casos, são preferidas as rochas com fenocristais ou porfiroblastos orientados.

Figura 4: Diferentes tipos de granitos.

Fonte – Adaptado de Santos (2008) e Nogami (2013).

3.3. Áreas de aplicabilidade do pó de pedra

A engenharia têm como princípios, o desenvolvimento, a inovação e a resolução de problemas, mas nesse meio é imprescindível um cuidado com as questões ambientais, com a busca de incentivos em políticas de reaproveitamento dos recurso desperdiçados, para minimizar possíveis impactos.

No meio acadêmico, há um crescimento considerável de pesquisas que vêm sendo desenvolvidas nessa área, em busca da resolução de problemas frequentes, muitos deles simples, mas que fazem uma diferença significativa para a sociedade. Ao se tratar da utilização e destino coerente de resíduos sólidos, adentrando nos rejeitos industriais, como pó de pedra, pode ser destacado algumas utilizações cruciais na produção de novos bens.

A literatura está sendo enriquecida consideravelmente nos dias atuais, com trabalhos abordando a aplicação dos rejeitos de pedreiras, para a diminuição dos impactos ambientais, principalmente na construção civil, como exemplo: Messoni (2004) utilizando o pó de pedra para substituição do areia na mistura de concreto; Martins (2015) a caracterização do pó de pedra de gnaiss para produção de concreto entre outros; e Fragas *et al.* (2016) análise comparativa da determinação da resistência à compressão em argamassas com pó de pedra em substituição parcial à areia natural.

Segundo Silveira (2017), de fato, uma área de grande aplicabilidade dos resíduos sólidos provenientes das indústrias é a construção civil, com uma grande exploração dos recursos naturais. Nos dias atuais, a literatura tem apresentado diversos trabalhos que abordam a inserção de resíduos provenientes de rochas ornamentais em materiais cerâmicos para a construção civil.

O autor também cita as características da composição química e mineralógica dos resíduos, que ao serem adicionados aos materiais cerâmicos, durante a sua sintetização, apresentam um processamento cerâmico com melhor formação da fase vítrea do material, o que promove uma proteção dos resíduos tóxicos e metais pesados.

Não só na construção civil, mas esses estudos também estão sendo realizados na área de compósitos poliméricos, como o trabalho de Nascimento (2015), o qual com utilização da cargas minerais proveniente dos resíduos das pedreiras, produziu um compósito de matriz polimérica.

3.4. Materiais compósitos

Materiais compósitos, de acordo com Callister Jr. (2012), podem ser definidos como o resultado da combinação de dois ou mais materiais distintos na sua fabricação, que possuem propriedades que não podem ser atendidas separadamente, o seu surgimento como um tipo de material diferente iniciou na metade do século XX, com a produção de compósitos multifásicos planejados e projetados, assim como os polímeros reforçados com a fibra de vidro.

Por mais que os materiais como: madeira, tijolos de argila reforçada com palha, conchas marinhas e mesmo ligas como o aço fossem materiais conhecidos a muito tempo, o reconhecimento dessa nova forma de unir materiais diferentes durante sua fabricação levou a criação de um novo tipo de materiais, os compósitos, como uma nova fase distinta, podendo ser: cerâmicas, metais e polímeros (CALLISTER JR., 2012).

Segundo Nascimento (2015), o crescimento significativo apresentado pela indústria de compósitos poliméricos é decorrente da intensificação no uso dos polímeros, a facilidade de modificação e ampliação das características e propriedades finais desse material, resultando no desenvolvimento com um diferencial, não deixando de mencionar o aspecto ambiental, que merece nos dias atuais, uma preocupação e respeitado por toda a sociedade.

A utilização dos materiais compósitos apresenta, de forma geral, uma grande eficiência, o que conseqüentemente mostra grandes vantagens, como: alta resistência à corrosão, baixa expansão térmica, bom desempenho a fadiga e tolerância a dano, fácil transporte e manuseio, suas altas razões rigidez/peso e resistência/peso e baixo consumo de energia no processamento do material e da própria estrutura (LOPES, 2009).

Os materiais compósitos são formados por dois constituintes, uma matriz e um reforço.

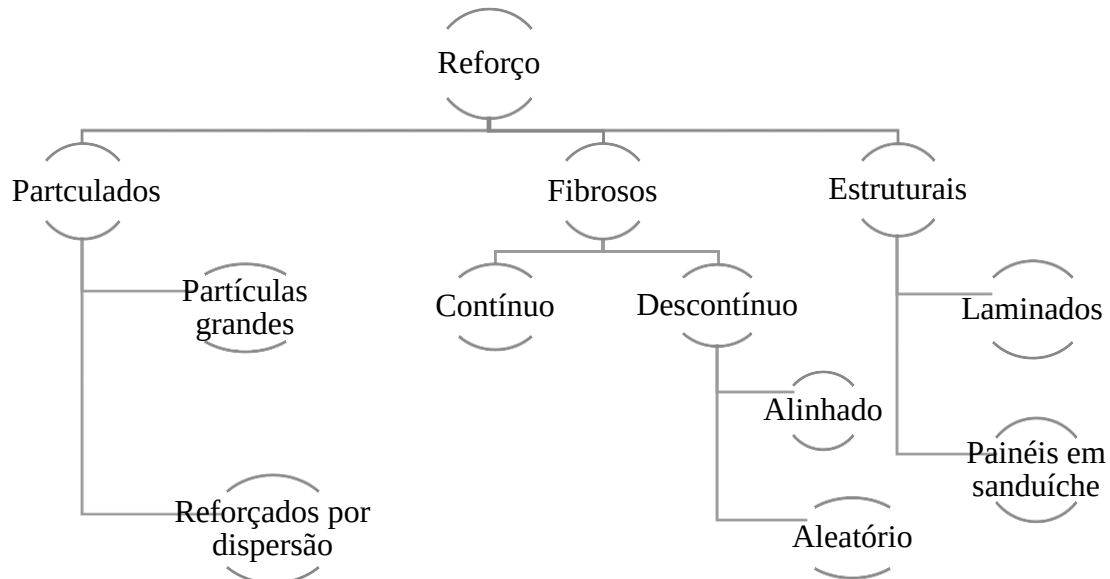
3.4.1. Reforço

Os reforços são constituintes dos materiais compósitos possui uma estrutura comumente descontínua, mais forte e resistente atuando com a função de resistência e rigidez ao compósito (CARVALHO, 2015). Estes atuam complementando as propriedades dos compósitos, como por exemplo: aumentar a tenacidade do composto, aumentar a retenção de resistência mecânica e aumentar o coeficiente de dilatação linear (NASCIMENTO, 2015).

Os materiais compósitos quanto ao constituinte reforço, possuem uma simples classificação, que evidencia três divisões principais: os compósitos reforçados por partículas (particulados), os compósitos reforçados com fibras (fibrosos) e os estruturais, além disso,

existem pelo menos duas subdivisões para cada divisão (CALLISTER JR., 2012). A Figura 5 mostra a classificação dos compósitos.

Figura 5: Classificação dos compósitos.



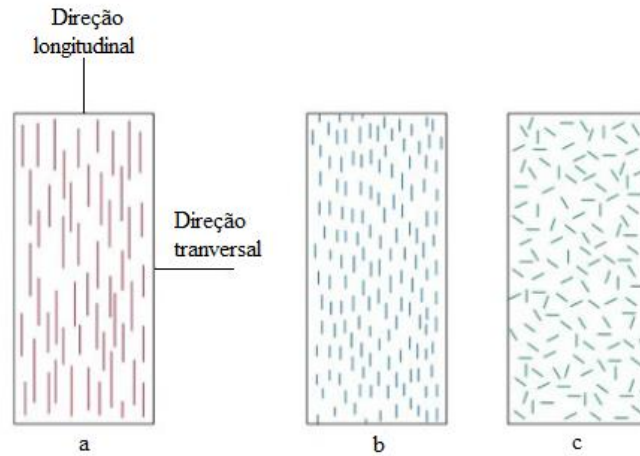
Fonte - Adaptado de Callister Jr. (2012).

3.4.1.1. Fibrosos

As fibras podem ser qualquer estrutura filamentosa, flexíveis, macroscopicamente homogêneas, com alta relação entre comprimento e seção transversal, e elas podem ser classificadas de acordo com sua origem em: fibras naturais, as quais são derivadas de animais, vegetais e minerais e as fibras sintéticas, que são produzidas artificialmente por meio de síntese química (SANTOS, 2006).

Os compósitos reforçados por fibras apresentam em sua composição, alta resistência e rigidez em relação ao peso, características que são representadas através da resistência específica e do módulo específico, que são, respectivamente, as razões entre o limite de resistência a tração e o peso específico e entre o módulo de elasticidade e o peso específico (CALLISTER JR., 2012). A Figura 6 ilustra as representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras.

Figura 6: Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras: (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.



Fonte - Adaptada de Callister Jr. (2012).

Em materiais compósitos, dentre as fibras sintéticas, as mais comuns, como exemplo, no Estados Unidos, são as fibras de vidro, aramida e de carbono, mas entres elas, as mais utilizadas são as fibras de vidro, envolvidas com materiais poliméricos, geralmente com matriz epóxi ou poliéster, serem mais baratas, e tem como principais característica a sua rigidez e fragilidade, já as fibras de aramida e carbono ambas apresentam elevada resistência mecânica e baixa densidade, mas apresentam alto custo, elas são mais voltadas para a utilização na indústria aeronáutica e aeroespacial (SMITH, 2012).

3.4.1.1.1. Fibra de vidro

A fibra de vidro é uma fibra sintética produzida a partir do vidro estirado na forma de fibras, o qual é utilizado como um material de reforço por meio da aglutinação de finíssimos filamentos flexíveis, pois é facilmente estirado na forma de fibras de alta resistência (CALLISTER JR, 2012).

A princípio, esse tipo de fibra sintética foi criada para otimizar o peso específico das fibras direcionadas à um mercado mais específico, há assim, vários tipos dessa fibra, e cada uma delas é resultado de combinações distintas que possuem características para aplicações específicas, sendo a mais utilizada a vidro-E, em que E representa o tipo elétrico (SHACKELFORD, 2008).

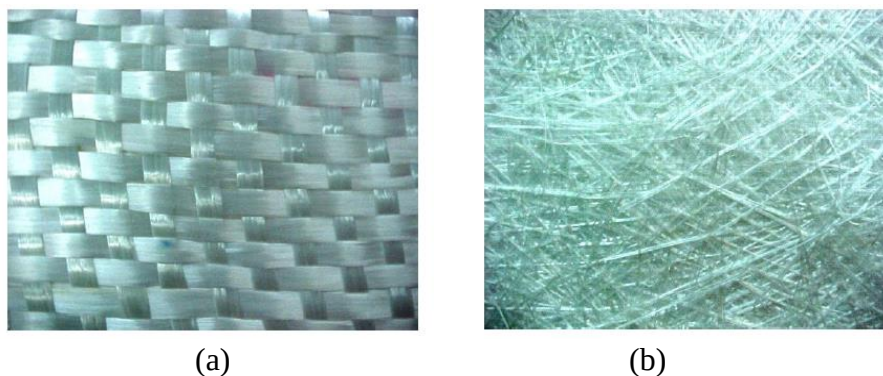
A fibra de vidro-E é constituída por um vidro de boro-silicato, alumínio e cálcio, com pequenas frações de sódio e potássio, que após sua construção, pode apresentar uma resistência à tração de cerca de 3,44 GPa, e um módulo de elasticidade de 72,3 GPa (SMITH, 2012).

A fibra de vidro é empregada na indústria automobilística, aeronáutica, naval, embalagens até a indústria civil, considerada como um dos principais materiais utilizados como reforços em compósitos de matriz polimérica, além do preço baixo, esta apresenta uma boa resistência química e uma facilidade de aumento de sua resistência mecânica por meio da manipulação dos seus constituintes (SANTOS, 2006).

As fibras de vidro são confeccionadas através de trefilação de monofilamentos de vidro, a partir do forno com o vidro fundido com vários filamentos formando feixes de fibra de vidro, assim, as mantas dessa fibra que apresentam a mesma função podem ser constituídas por feixes contínuos ou por feixes descontínuos, e estes feixes são juntos por meio de um ligante resinoso, em que há também as telas que são construídas através da união química de um tecido com uma manta de feixe não contínuos (SMITH, 2012).

As fibras de vidro são comercializadas nas mais diversas formas e gramaturas como fios e tecidos roving, tecidos uni e bidirecionais, mantas de fios contínuos, mantas de fios picados, entre outros (AQUINO, 1992). A Figura 7 mostra algumas das formas de organização do fio da fibra de vidro mais encontradas comercialmente.

Figura 7: (a) Tecido bidirecional de fibras de vidro; (b) Manta de fibras de vidro.



Fonte - Adaptada de Aquino (1992).

A manta é a camada de fios cortados ou contínuos formando uma estrutura de lâmina fina e contínua, juntos por meio de resinas adesivas, os fios são regularmente distribuídos em um modelo aleatório, geralmente as mantas são utilizadas em processos de laminação manual; as fibras picadas ou moídas, os fios podem ser cortados em pequenos comprimentos; os tecidos são construídos a partir do entrelaçamento de barbantes, fibras ou filamentos, eles são

fabricados em uma variedade de estilos que possibilita o controle sobre espessura e resistência, o tecido remete a forma como são organizado os entrelaçados dos fios, o qual determina o aspecto e algumas características funcionais e manuais de um tecido; já os roving é um conjunto de fios paralelos de fibras de vidro unidos em forma de fita e enrolados como um tubo cilíndrico (ALBUQUERQUE, 2005).

3.4.1.2. Particulados

Os compósitos particulados possui duas subclassificações, os particulados grandes e os particulados por dispersão. A diferença entre ambos está no mecanismo de reforço ou de aumento da resistência, que para os compósitos reforçados por dispersão, as partículas são, em geral, muito menores, com diâmetros entre 10nm e 100nm e as interações partícula-matriz que garantem o aumento da resistência acontece no nível atômico ou molecular (CALLISTER JR., 2012). Já os particulados grandes, segundo o mesmo autor, mostram que as interações partícula-matriz não podem acontecer apenas com pequenas moléculas, mas também com partículas maiores e a fase particulada apresenta-se como mais dura e mais rígida comparada a matriz, na maioria destes compósitos.

Para a construção desses tipos de compósitos pode ser utilizado, o pó de pedra, rejeitos que apresentam as características que se adentram aos materiais utilizados como reforços particulados grandes, os quais são provenientes de atividades industriais, como exemplos destes tipos de particulados, são o calcário e o granito, produzidos nas pedreiras do oeste potiguar, subproduto da usinagem das rochas.

3.4.2. Matriz

Segundo Silva (2013), a matriz é um dos constituintes de um compósito que exerce a função estrutural, atuando com um agente fixador do compósito, assim, ao ocupar os espaços vazios, a matriz ajuda no rearranjo das partículas, transmitindo carga mecânica e protegendo os reforços. Esta requer propriedades térmicas (baixa condutividade térmica, resistência a temperaturas extremas e coeficiente de dilatação térmica); e química (boa adesão às fibras, resistência à degradação a ambientes quimicamente agressivos).

As propriedades de um material compósito são fortemente determinadas pela sua matriz, tais como, sua resistência nos processos degradativos que provocam falhas na estrutura, assim como os danos de impacto, a absorção de água, ataque químico, resistência à corrosão e

resistência à oxidação, todas estas características são influenciadas pela composição da matriz, além disso, a matriz também contribui na conformação na fabricação do material compósito, o que conseqüentemente interferirá no custo final da produção (SOBRINHO, 2005).

Nos compósitos reforçados com fibras, a fase matriz deve apresentar algumas funções importantes, como: unir as fibras umas às outras atuando como o meio de transmissão da tensão aplicada e distribuir para as fibras, além disso, o material da matriz deve ser dúctil, o seu módulo de elasticidade da fibra deve ser muito maior que o da matriz, proteger as fibras individuais contra danos superficiais decorrentes de reações químicas com o ambiente (CALLISTER JR., 2012).

O autor acrescenta que a matriz separa as fibras umas das outras e por ela apresentar uma baixa dureza e plasticidade relativas, faz com que a mesma previna o aparecimento de trincas frágeis de uma fibra para outra, ou seja, esta serve como uma barreira à propagação de rachaduras.

A fase matriz pode ser classificada em: polimérica, cerâmica ou metálica. A Figura 8 mostra as principais características de cada tipo de matriz. Neste trabalho será melhor descrito a polimérica, devido ser a utilizada nos materiais propostos.

Figura 8: Classificação do compostos fase matriz.



Fonte - Adaptada de Silva (2014a).

3.4.2.1. Matriz Polimérica

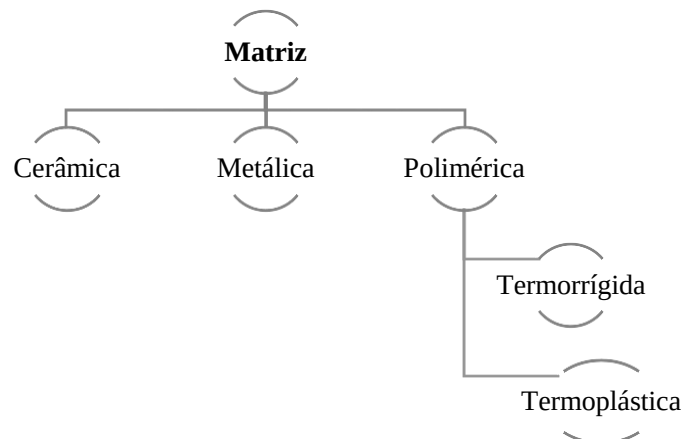
Segundo Ota (2004) este tipo de compósito vem apresentando na sociedade uma grande abrangência nas suas aplicações como por exemplo, as embalagens, tubulações, pneus, revestimentos de fios e cabos, engrenagens e outros componentes mecânicos de máquinas, painéis, carcaças, coberturas estruturais, para-choques de carro, substratos e placas de circuito impressos eletrônicos, e em todas estas aplicações a matriz polimérica tem mostrado uma maior preferência quando comparada aos materiais tradicionais metálicos e cerâmicos, devido as suas propriedades.

Nas aplicações dos polímeros, suas propriedades mecânicas, como leveza, baixo custo de transformação e facilidade de conformação, apresentam-se com importantes requisitos para sua escolha, além das características como o excelente isolamento térmico e elétrico ou resistência à corrosão (OTA, 2004).

Na diversidade de aplicações em compósitos de matriz polimérica são utilizados as resinas que ajudam na prevenção na abrasão das fibras, mantendo suas posições e separações, as quais em sua maioria são reforçadas com fibras de vidro, e apresentam mudanças quanto a sua de resistência mecânica, resistência à corrosão e ao calor, em que a resina pode ser influenciada diretamente com a adição ou mudança na sua concentração de aditivos como filler, pigmento, sistema de catalisador (ALBUQUERQUE, 2005).

As matrizes poliméricas podem se apresentar de duas formas distintas, chamados termoplásticos ou termorrígidos. A Figura 9 mostra como se dá a classificação dos compósitos quanto a sua matriz.

Figura 9: Classificação dos compósitos de matriz polimérica.



Fonte – Adaptado de Nascimento (2015).

No quadro 1 é mostrado algumas diferenças entre a matriz polimérica termorrígida e termoplástica.

Quadro 1: Diferenças entre os termorrígidos e os termoplásticos.

Termoplásticos	Termorrígidos
Reciclável mecanicamente	Não reciclável mecanicamente
Tempo ilimitado de armazenamento	Tempo limitado de armazenamento
Alta viscosidade	Baixa viscosidade
Baixa resistência à fluência	Alta resistência a fluência
Temperatura de uso limitada à Tg e Tm.	-
Baixa estabilidade térmica e dimensional	Alta resistência térmica e dimensional

Fonte – Adaptado de Santos (2006).

A divergência mais relevante que há entre eles está atrelada ao comportamento característico quando estes são submetidos a altas temperaturas, sendo os termoplásticos, os polímeros que possuem a capacidade de serem moldados e remoldados muitas vezes, isto devido às suas características maleável de se tornarem fluidos em altas temperatura e posteriormente se solidificarem em temperatura mais baixas. O autor ainda afirma que já os termorrígidos por apresentarem em sua composição, ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares, não tem o comportamento de fluidos, e conseqüentemente não é maleável a moldagem (SILVA, 2014b).

Segundo Santos (2006), se tratando do uso estrutural, os materiais termorrígidos são mais preferidos que os termoplásticos, por apresentarem algumas vantagens como: uma alta estabilidade térmica, elevada rigidez, alta estabilidade dimensional, boas propriedades de isolamento térmico e elétrico, resistência à fluência e à deformação sob carregamento, além de ainda podem ser combinados com fibras, como os poliésteres, poliuretanos, vinil-éster e fenólicas, que são as resinas termorrígidas mais usadas em compósitos reforçados com fibras de vidro, por seu baixo custo.

De acordo com sua composição, na formação de suas cadeias moleculares, com a existência ou não de duplas ligações entres os átomos de carbono, estes podem ser classificados em saturados e insaturados (GALVÃO, 2011). Os poliésteres saturados originam polímeros termoplásticos e os insaturados passam pelo processo de cura e formam resinas termofixas (RODRIGUES, 2007).

Entre os vários tipos de resinas existentes, as mais utilizadas em materiais compósitos, são aquelas que sua estrutura é constituída principalmente por resina termorrígida, como as resinas de poliéster, epóxi e vinil éster (SOBRINHO, 2005). Estas também são mais baratas e são utilizadas em compósitos reforçados por fibras de vidro (CALLISTER JR., 2012).

3.4.2.1.1. Poliéster

De acordo com Macedo Neto (2016), o poliéster é uma resina de polímeros constituídas a partir da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos (anídrico maleico ou ftálico) e glicóis, com moléculas de cadeias longas e lineares, que de acordo com o tipo de ácido presente na resina este pode influenciar diretamente nas suas propriedades finais, podendo ser produzidos poliésteres ortoftálicas, isoftálicas e tereftálicas.

Segundo Galvão (2011) a composição química do poliéster endurecido influencia diretamente na determinação de algumas características, como: a flexibilidade, dureza, resistência mecânica, resistência química e resistência térmica. Algumas propriedades são mostradas na Tabela 2.

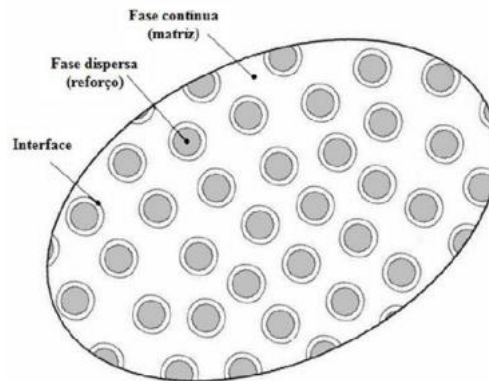
Tabela 2: Propriedades da resina de poliéster.

Propriedades	Valor
Densidade (kfg/m ³)	1100 a 1400
Módulo de Elasticidade (MPa)	2100 a 4400
Resistência a tração (MPa)	34 a 100
Alongamento (%)	2

Fonte – Galvão (2011).

Os poliésteres apresentam propriedades que nas suas aplicações os tornam mais polivalentes entre todas as resinas termofixas. Entre essas propriedades podem ser mencionadas: excelente estabilidade dimensional e resistência a ambientes quimicamente agressivos, ótimas propriedades elétricas e isolantes, fácil pigmentação, não liberam materiais voláteis durante a cura, cura a frio, permite o uso de moldes simples e baratos (MACEDO NETO, 2016). A Figura 10 mostra as fases de um compósito.

Figura 10: Fases matriz e reforço de um compósito.



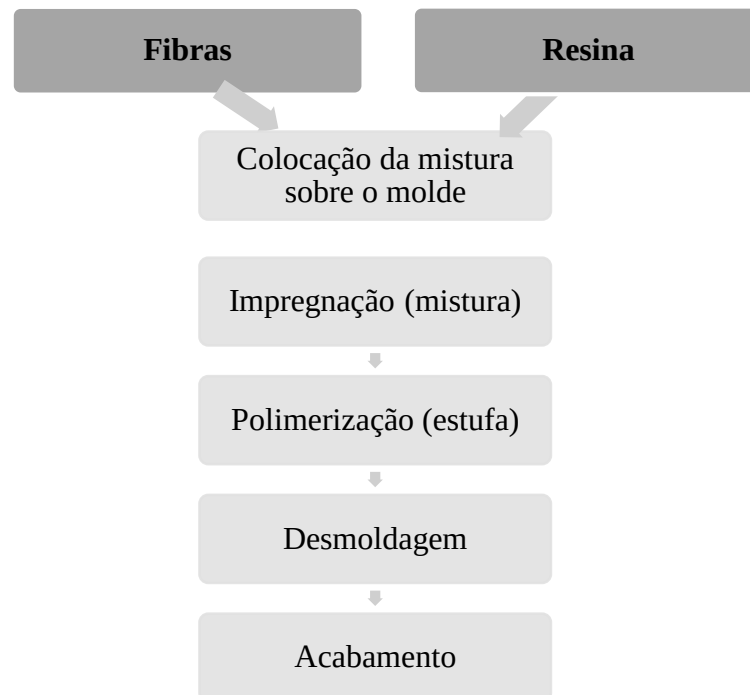
Fonte – Adaptado de Daniel e Ishai (2006 *apud* Silva, 2013).

3.5. Processos de fabricação de compósitos poliméricos

Segundo o Callister Jr. (2012), há vários métodos utilizados para a fabricação de compósitos poliméricos, que podem ser classificados principalmente em moldes abertos (exposto ao ambiente) e moldes fechados (nenhuma face é exposta), como o próprio nome sugere, como exemplo de processos de moldagem aberta há, a manual (*hand lay-up*); utilizando pistola (spray-up); por centrifugação e por enrolamento (*filamento winding*). E como moldagem fechada pode-se citar, a montagem por compressão (SMC, BMC, etc), a injeção e a pultrusão.

De acordo com Tinô (2010), a montagem de compósitos poliméricos reforçados com fibras, de forma generalizada, apresenta as mesmas etapas destacadas na Figura 11, as quais podem ser executadas pelos diferentes tipos de procedimentos mencionados, que serão escolhidos de acordo com parâmetros como: forma, dimensão, propriedades, características mecânicas desejadas e séries de fabricação.

Figura 11: Etapas de fabricação dos compósitos.



Fonte – Adaptado de Tinô (2010).

3.5.1. Processo de fabricação manual *hand-lay-up*

Hand lay-up é o processo de montagem manual ou laminação manual de compósitos poliméricos com molde aberto (DUARTE, 2011). Carvalho (1992) *apud* Tinô (2010) explica a nomenclatura do processo devido às baixas pressões necessárias, apresentando-se como a primeira técnica a ser utilizada na produção de plásticos reforçados com fibras de vidro, sendo muito utilizada até os dias atuais.

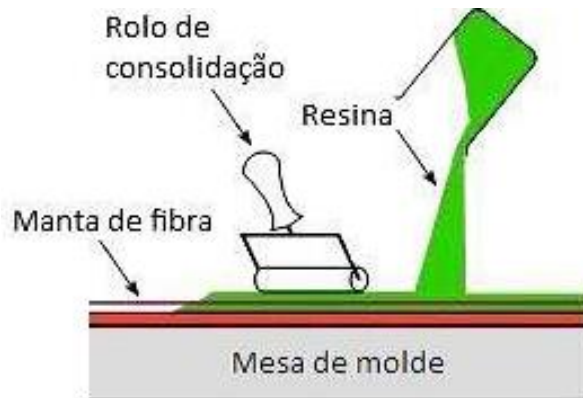
Sua implementação apresenta um baixo custo, uma vez que necessita de poucos equipamentos e também baixo peso, sendo adequadas para produção de baixos e médios volumes, apresentando um bom acabamento superficial, mas para isto requer muito cuidado durante todo o processo, principalmente com a entrada de ar que pode criar bolhas na superfície das placas (DUARTE, 2011).

Herakovich (1997) *apud* Tinô (2010) descreve esse processo de montagem manual a aplicação de mantas ou tecidos de fibras na superfície de um molde, seguido da resina: Em camadas, estes materiais são espalhados com o auxílio de rolos e pinces, sendo também compactados eliminando as bolhas de ar existentes, para não causar imperfeições no compósito.

Quanto as especificações, o autor destaca que o processo é realizado a temperatura ambiente, pois temperaturas mais elevadas podem causar diminuição no tempo de

polimerização; em seguida é realizado a desmoldagem e por fim o processo é finalizado com o acabamento da placa de compósito moldada (ver Figura 12).

Figura 12: Processo *hand lay-up*.



Fonte - Almeida (2009).

Destaca-se que é necessário que o molde esteja limpo para que uma cera desmoldante seja aplicada, para posteriormente facilitar a retirada da peça sem imperfeições (VIEIRA, 2016).

3.6. Fatores que influenciam o comportamento mecânico dos compósitos

A grande vantagem da utilização dos materiais compósitos, já abordado, é a possibilidade de atingir uma propriedade desejada por meio da combinação dos materiais envolvidos, o que influencia diretamente no comportamento e propriedades mecânicas do compósito elaborado (BATISTA, 2017).

Segundo Herakovich (1997) *apud* Tinô *et al.* (2014) é notório que o comportamento mecânico dos materiais compósitos mostrem-se fortemente influenciados no que diz respeito às suas propriedades pelo seu tipo de constituinte (reforços e matrizes), assim como também pelas percentagens destes constituintes e da distribuição e orientação das fibras (anisotropia).

Em compósitos reforçados por fibras há uma composição de alta resistência e rigidez em relação ao peso, além das propriedades da fibra, o comprimento da mesma apresenta grande influência no comportamento desse material, o grau que a aplicação da carga é transmitida para as fibras pela fase matriz, assim como também sua orientação em relação umas às outras e sua distribuição (CALLISTER JR., 2012).

Naik (1994) *apud* Bejan *et al.* (2013) aborda outros parâmetros que também merecem destaque em compósitos que utilizam tecidos na sua composição, o que sofrem influência do peso do tecido, fração de volume constituinte, fios de ondulação, estilo de tecelagem, e as propriedades dos materiais constituintes.

Quanto aos compósitos poliméricos reforçados com fibras, os principais fatores que merecem destaque são: forma do reforço (fibra contínua ou fibra picada, podendo vir em forma de mantas ou de tecidos); seleção do tipo da fibra utilizada (tecido com uma única fibra ou com mais de uma fibra – tecido híbrido); tipo da resina utilizada; fração das fibras; fração da matriz; escolha da orientação da fibra com relação à direção da carga aplicada (anisotropia); e a presença de descontinuidades geométricas (entalhes, furos, etc) (BATISTA, 2017).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização deste estudo, afim de analisar a influência nas propriedades mecânicas em compósitos PRFV, com a inserção do pó de granito à diferentes granulometrias, serão utilizados alguns materiais e procedimentos fundamentais para execução do mesmo, nesta seção estes serão descritos:

4.1. Materiais utilizados em laminados compósitos

A Figura 13 mostra, a resina poliéster cristal (a), o monômero (b), utilizado para o ajuste da viscosidade da resina, o catalisador (c), para acelerar a reação do processo. O rolo (d) para espalhar a mistura e para a lubrificação dos moldes (placas de vidro e porcelanatos), foi usada a cera desmoldante Tec Glaze – N (e).

Figura 13: Materiais utilizados na laminação.



Fonte – Autor.

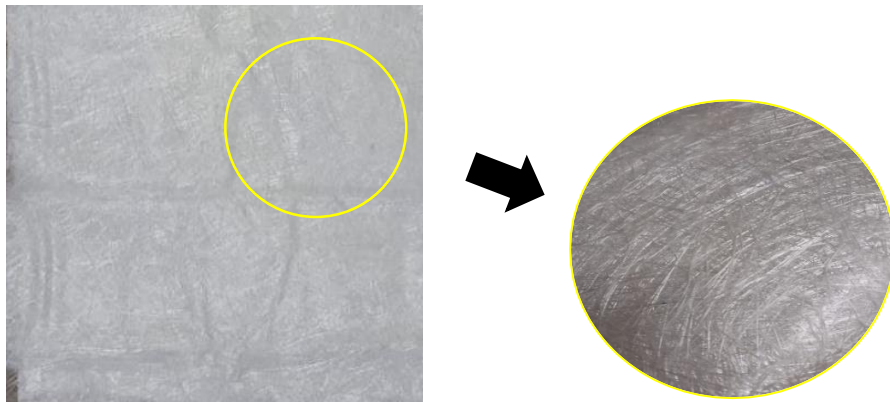
Como reforços foram utilizados, o reforço fibroso (manta de fibra de vidro) com uma gramatura de 595 g/m² com um desvio padrão de 81,81 g/m² e um comprimento médio das fibras por volta de 5,00 cm. Para obtenção da gramatura foram utilizadas 10 amostras com diâmetro de 113 mm da manta. Com as medidas da massa das amostras, foi calculada a gramatura, com a divisão da massa média pela área do círculo (padronizado, de acordo com a dimensão de um cortador comercial). E para o comprimento médio, foi medido 10 fios aleatórios nessa área da amostra e calculado a média. A pesagem das amostras é mostrada na Figura 14. A Figura 15 ilustra a manta de fibra de vidro utilizada.

Figura 14: Gramatura.



Fonte – Autor.

Figura 15: Manta de fibra de vidro.



Fonte – Autor.

Como particulado (pó de granito), com granulometrias de ($53\mu\text{m}$ - $90\mu\text{m}$; $90\mu\text{m}$ - $180\mu\text{m}$ e $180\mu\text{m}$ - $300\mu\text{m}$). Os pós são mostrados na Figura 16.

Figura 16: Pós de granito nas granulometrias de ($53\mu\text{m}$ - $90\mu\text{m}$; $90\mu\text{m}$ - $180\mu\text{m}$ e $180\mu\text{m}$ - $300\mu\text{m}$).



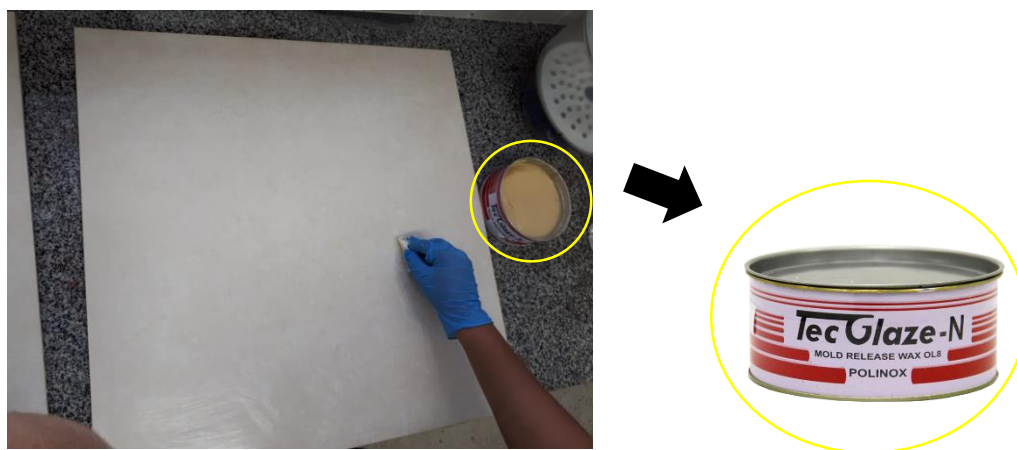
Fonte – Autor.

4.2. Laminação do material compósito

4.2.1. Preparação do molde e das fibras

O primeiro passo a ser feito foi a aplicação da cera desmoldante (Tec Glaze - N) na superfície do molde, com o objetivo de isolar o material e garantir uma melhor uniformidade na sua formação e desmoldagem, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17: Aplicação da cera desmoldante.



Fonte – Autor.

Depois foram cortados 4 conjuntos com 4 retângulos iguais da manta da fibra de vidro, para montagem das placas.

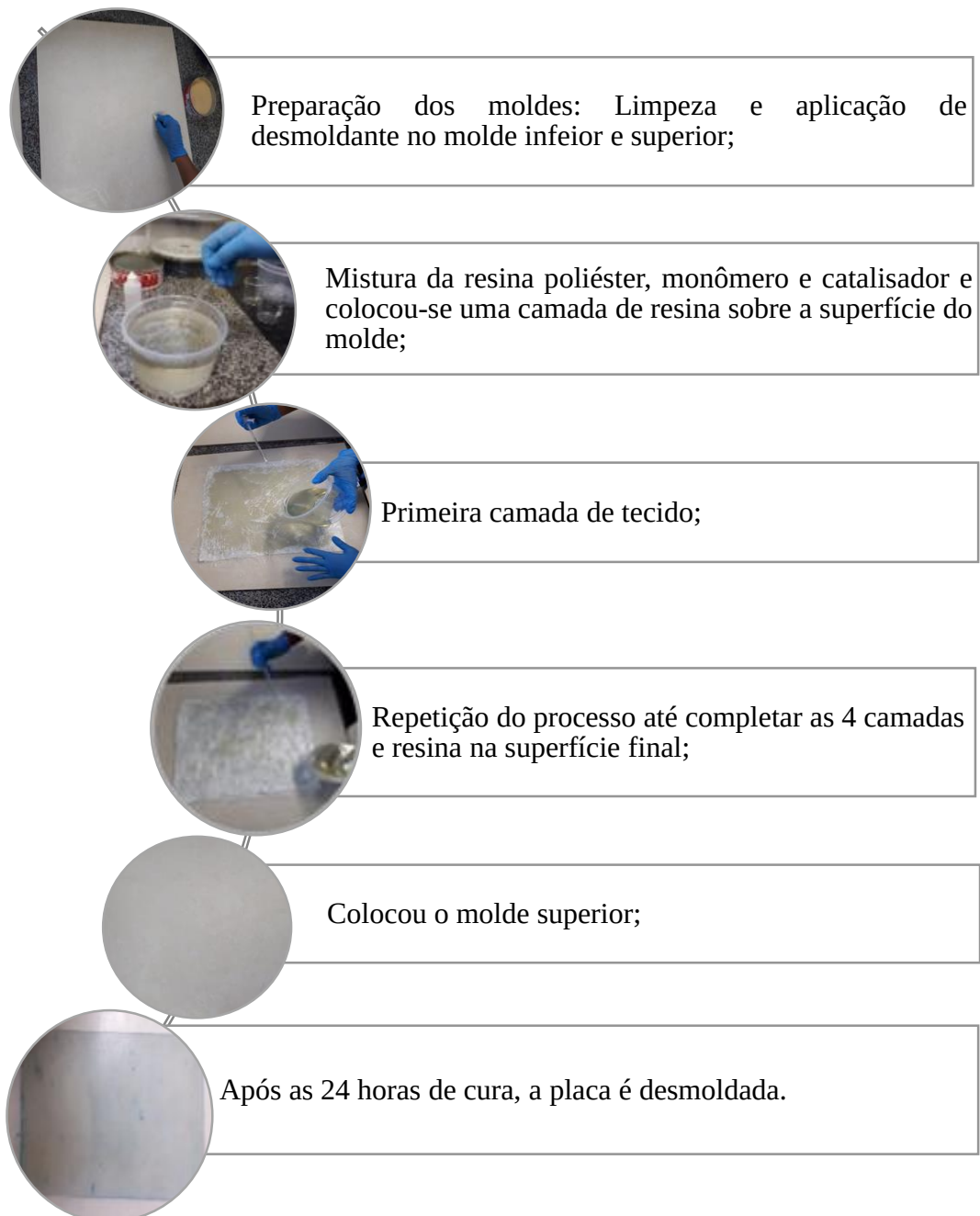
4.2.2. Laminação da placa de resina pura

Primeiramente foi construído um compósito que utilizou-se como reforço unicamente a manta de fibra de vidro, servindo como base para comparação dos laminados que terão a inserção do pó de granito. Foram pesados e colocados em um pote com aproximadamente 900g de resina poliéster cristal e 2% de monômero e misturou-se. Depois, adicionou-se à mistura 0,5% do catalisador.

Misturou-se manualmente, com um auxílio de um bastão de vidro, os materiais por um minuto, e em seguida deu-se início ao processo de laminação da placa, sequencialmente uma camada da mistura era adicionada sobre uma camada da manta de fibra de vidro, e com o rolo toda a mistura foi bem espalhada e uniformemente deixando a manta bem umedecida.

Após a montagem das 4 camadas da fibra foi colocado um molde em cima para ajudar na aderência e uniformidade da placa, a qual permaneceu por 24 horas, para que houvesse o processo de cura. Concluída a cura, o material foi desmoldado. A Figura 18 descreve cada etapa da realização do processo.

Figura 18: Processo de laminação da placa de resina pura.



Fonte – Autor.

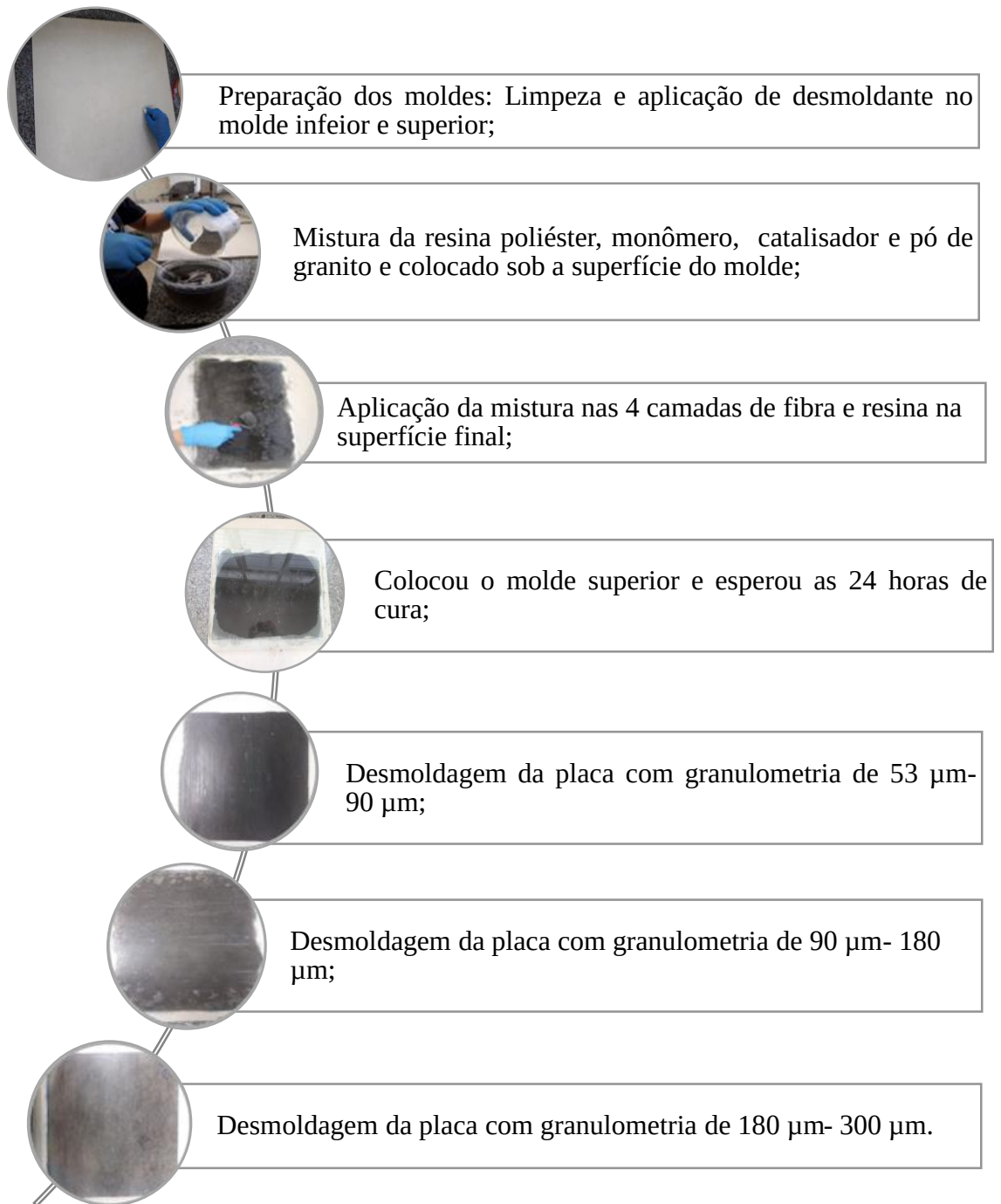
4.2.3. Laminação das placas com particulado de granito

A laminação das placas de compósitos com a inserção do pó de granito se deu basicamente seguindo o mesmo processo, diferindo apenas na adição do pó de pedra nas granulometrias (53 μ m - 90 μ m; 90 μ m - 180 μ m e 180 μ m - 300 μ m). Ambos foram confeccionados a partir da resina de poliéster cristal, com uma massa de com aproximadamente 900g. Foi adicionada à ela 2% de monômero misturando bem, de forma manual.

Depois disso, com a resina devidamente misturada, adicionou-se o pó de granito (cada placa com uma granulometria) na proporção de 10% em relação a massa da resina, completando a formação da mistura. Por último, adicionou-se 0,5% de catalisador e misturou-se novamente por alguns minutos.

Com o material homogeneizado este foi sendo colocado sobre as mantas de fibra de vidro, camada por camada, espalhando bem, com o rolo, até a quarta camada, deixando a placa bem umedecida, depois foi colocado o molde por cima e deixado 24 horas descansando em processo de cura. E o mesmo processo foi repetido para as três granulometrias. Após a cura, as placas foram desmoldadas. A Figura 19 descreve cada etapa do processo.

Figura 19: Processo de laminação das placas com particulados de granito.



Fonte – Autor.

O Quadro 2 mostra as especificações com as suas descrições dos compósitos fabricados para realização do estudo.

Quadro 2: Compósitos fabricados.

Especificação	Definição
PRFV	Plástico Reforçado com fibra de vidro, com 4 camadas de manta de fibra de vidro e resina poliéster.
PRFV+ G ₅₃₋₉₀ ^{10%}	PRFV adicionando-se 10% de granito em relação a massa da resina com granulometria entre 53 µm – 90 µm.
PRFV+ G ₉₀₋₁₈₀ ^{10%}	PRFV adicionando-se 10% de granito em relação a massa da resina com granulometria entre 90 µm – 180 µm.
PRFV+ G ₁₈₀₋₃₀₀ ^{10%}	PRFV adicionando-se 10% de granito em relação a massa da resina com granulometria entre 180 µm – 300 µm.

Fonte – Autor.

4.3. Ensaios realizados

4.3.1. Granulometria

Os solos caracterizados como grossos, como areias e pedregulhos, apresentam pouca ou nenhuma quantidade de partículas finas e dessa forma podem ter a sua curva granulométrica inteiramente determinada através apenas do peneiramento. Já em solos que possuem uma quantidade de partículas finas significativas, deve ser realizado o ensaio de granulometria conjunta, que engloba tanto as fases de peneiramento como também a sedimentação (NASCIMENTO, 2015).

Dessa forma, inicialmente será realizado um ensaio granulométrico, o qual segundo Almeida *et al.* (2012) é a quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de um mineral, o qual tem como objetivo romper os agregados do solo (pós de granito), liberando as partículas isoladas na suspensão por meio de uma combinação de energia mecânica e química e formando uma suspensão estabilizada para a quantificação após a separação das frações.

O pó de granito foi obtido em pedra de município de Caraúbas-RN. As granulometrias realizadas foram de (53µm -90 µm; 90 µm - 180µm e 180 µm - 300 µm) (a o Quadro 3 mostra as especificações das peneiras utilizadas), ensaios realizados no laboratório de solos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA Campus Caraúbas- RN. A Figura 20 mostra as peneiras utilizadas.

Quadro 3: Especificações das peneiras utilizadas para ensaio granulométrico.

Abertura	Mash
300 μm	#50
180 μm	#80
90 μm	#170
53 μm	#270

Fonte – Autor.

Figura 20: Peneiras.

Fonte – Autor.

4.3.2. Ensaio de tração e preparação dos corpos dos CPs

Após a laminação manual das placas, foram obtidos compósitos PRFV nas condições propostas, os quais foram utilizados para a confecção dos corpos de provas (CPs) para o ensaio de tração.

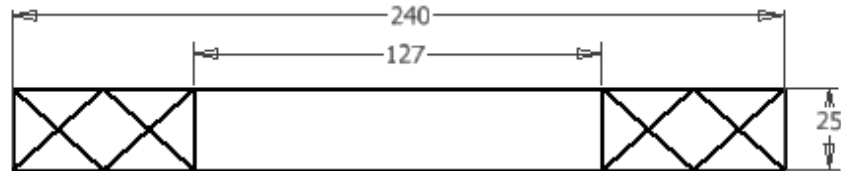
O ensaio de tração segundo Dalcin (2007) é um dos ensaios utilizados em materiais, o qual diz respeito a aplicação de uma carga de tração uniaxial crescente em um determinado corpo de prova, até a sua ruptura. Na indústria de componentes mecânicos, este ensaio é muito usual, uma vez que ele proporciona dados quantitativos das características mecânicas dos materiais, informações essenciais para sua melhor utilização e aplicabilidade.

O autor também complementa que é possível afirmar, nesse tipo de ensaio, as deformações acontecendo no material de maneira uniforme, distribuídas igualmente em todo o corpo até que se atinja a carga máxima suportada pelo material, próxima do final do ensaio. É possível fazer a carga crescer numa velocidade lenta durante todo o teste, e assim o ensaio de tração permite medir satisfatoriamente a resistência do material.

Para a realização do ensaio de tração os CPs precisam estar dentro de uma norma específica, de acordo com o material trabalhado, neste caso a norma utilizada foi a ASTM D 3039 (2014) a qual os CPs devem estar padronizados com dimensões equivalentes a um

comprimento total de 200 mm à 300 mm e um comprimento útil de 127 mm e largura de 25 mm, com tolerância de (25,25 mm à 24,75 mm). As dimensões desses corpos são mostradas em mm (milímetros) na Figura 21.

Figura 21: Dimensões dos CPs para o ensaio de tração uniaxial.



Fonte – Autor.

As placas foram todas marcadas nas dimensões recomendadas pela norma e em seguida utilizando a máquina Tico-tico, cortou-se 8 CPs para cada compósito proposto, que por sua vez foram lixados nas lixas 80, 220, 320, 500, 600 e 1020, até atingir a dimensão correta além de um bom acabamento. Depois em cada CP foram realizadas 5 medições aleatórias de largura e espessura (dentro do galgo), para obtenção da área média destes. A Figura 22 ilustra uma amostra de cada tipo de compósito.

Figura 22: Corpos de prova (a) PRFV; (b) PRFV+ $G_{53-90}^{10\%}$; (c) PRFV+ $G_{90-180}^{10\%}$ e (d) PRFV+ $G_{180-300}^{10\%}$.



Fonte – Autor.

Após os CPs estarem prontos, os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio de Caracterização do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró - RN, com base na norma já apresentada, a ASTM D 3039 (2014). Para a execução dos ensaios deste estudo, utilizou-se a máquina de ensaio universal DL-10000, da

EMIC, mostrada na Figura 23, com capacidade máxima de 100 KN e velocidade de 2 mm/min, como recomendado na norma. A Figura 24 mostra a realização do ensaio de tração.

Figura 23: Máquina de ensaio de tração – EMIC.



Fonte – Autor.

Figura 24: Ensaio de tração.



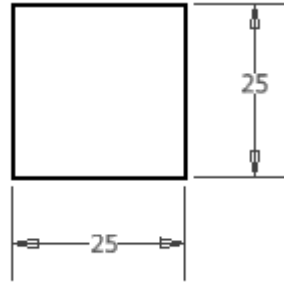
Fonte – Autor.

4.3.3. Ensaio de densidade e preparação dos CPs

Foi realizado o ensaio de densidade volumétrica baseado na norma ASTM D 792 (2008). O ensaio de densidade é utilizado no controle da qualidade de materiais, verificação da uniformidade de conjuntos de materiais e na avaliação de mudanças físicas em uma determinada amostra (CARLOS, 2018).

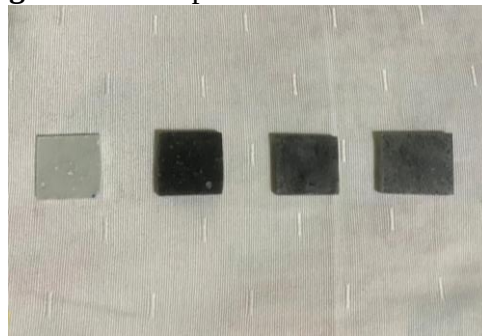
Para a realização dos ensaios foram retiradas 5 amostras de dimensões 25 mm x 25 mm dos compósito. As dimensões são mostradas na Figura 25 em mm (milímetros). A Figura 26 mostra cada corpo de prova pronto para a realização do ensaio.

Figura 25: Dimensões dos CPs para o ensaio de densidade.



Fonte – Autor.

Figura 26: CPs para ensaio de densidade.



Fonte – Autor.

A densidade do compósito é calculada pela equação 1, baseada na ASTM D 792 (2008):

$$\rho = \frac{a\eta}{a + b - w} \quad (1)$$

Onde ρ é a densidade volumétrica do compósito (g/cm^3), a é o peso da amostra seca (g), η é a densidade da água na temperatura de ensaio a 23°C ($0,9975 \text{ g}/\text{cm}^3$), w é o peso do afundador parcialmente imerso em água (g), e b é o peso da amostra imersa com o afundador em água (g).

O teste de densidade foi realizado no Laboratório de Metalografia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Caraúbas- RN, a uma temperatura de 23°C e uma variação 2°C .

Para a realização do ensaio utilizou-se: A balança, um béquer, um afundador, e uma estufa, mostrados nas Figuras 27, 28, 29 e 30.

Figura 27: Balança de precisão.



Fonte – Autor.

Figura 28: Béquer com água destilada



Fonte – Autor.

Figura 29: Afundador (suporte para amostra resistente a corrosão).



Fonte – Autor.

Figura 30: Estufa.



Fonte – Autor.

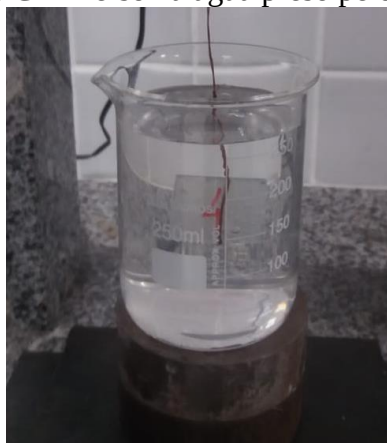
As amostras foram colocadas em uma estufa, por aproximadamente uma hora com uma temperatura de 100°C para garantir que estas estivessem sem nenhuma umidade, posteriormente foram pesadas e com isso obteve a massa seca. Em seguida, foi medido o peso do afundador imerso no béquer com água destilada, e posteriormente foi medido cada amostra presa ao afundador ainda imersa no béquer com água, para poder ser calculada a densidade de todas as amostras, a partir dos valores de massa molhada e seca do material. O procedimento pode ser visto nas Figuras 31 e 32.

Figura 31: Ensaio de densidade.



Fonte- Autor.

Figura 32: CP imerso na água preso pelo afundador.



Fonte- Autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da realização dos ensaios previstos, nesta seção será realizado o processamento dos dados e resultados coletados, assim como também através de outras pesquisas, serão feitas buscas de possíveis explicações para certos comportamento e acontecimentos. Os desvios padrões foram calculados utilizando o Excel, utilizando a função “DESVPAD”.

5.1. Espessura dos corpos de provas

As médias das espessuras dos CPs utilizados para o ensaio de tração são descritas na Tabela 3, em (mm).

Tabela 3: Espessuras dos CPs.

	PRFV	PRF+G^{10%}₅₃₋₉₀	PRFV+ G^{10%}₉₀₋₁₈₀	PRFV+ G^{10%}₁₈₀₋₃₀₀
Espessura média	3,96	5,16	5,04	4,99
Desvio Padrão	0,12	0,21	0,16	0,12

Fonte – Autor.

Percebe-se que ao fabricar o compósito as espessuras dos laminados apresentaram uma diferença, e como a fibra utilizada para todos foi a mesma (sendo todas retiradas da mesma amostra), pode-se concluir que a adição do pó de pedra acrescentou em um aumento de espessura e possivelmente teve um maior percentual de resina utilizada. Percebe-se também, que a medida que se diminui o tamanho do grão, o laminado ficou uma espessura maior. Destaca-se que as amostras do PRFV+G^{10%}₅₃₋₉₀ teve uma espessura superior de 23,26% em relação as amostras do PRFV.

5.2. Densidade

Os resultados obtidos através do ensaio de densidade volumétrica realizados nos 5 CPs de cada tipo de laminado, são mostrados na Tabela 4, todos em gramas por metro cúbico (g/m³).

Tabela 4: Densidade volumétrica.

	PRFV	PRFV+G^{10%}₅₃₋₉₀	PRFV+ G^{10%}₉₀₋₁₈₀	PRFV+ G^{10%}₁₈₀₋₃₀₀
Valor médio	1,40	1,42	1,41	1,42
Desvio padrão	0,02	0,01	0,02	0,00

Fonte – Autor.

Foi possível perceber que as densidades volumétrica das amostras não apresentaram uma variação significativa, chegando a apresentar um desvio padrão nulo (considerando duas casas decimais) nos CP's de PRFV com adição de 10% de granito com granulometrias 180 µm-300 µm, mostrando homogeneidade nos laminados confeccionados.

Percebe-se também o valor de densidade para todos os PRFV adicionados de 10% de granito (PRFV+G^{10%}₅₃₋₉₀; PRFV+ G^{10%}₉₀₋₁₈₀ e PRFV+ G^{10%}₁₈₀₋₃₀₀) não apresentam diferença significativas, podendo afirmar que a granulometria não influenciou na densidade dos materiais propostos.

Tinô (2010) em seu trabalho realizou ensaios de densidade em dois PRFV, um deles com 7 camadas com manta de fibra de vidro e outro com 4 camadas de tecido bidirecional plano, ambos com resina poliéster e fabricados pelo processo de fabricação *hand lay-up*, e o mesmo encontrou as densidades de 1,47 g/m³ e 1,58 g/m³, respectivamente.

Vieira *et al.* (2016) em sua pesquisa realizou um ensaio de densidade com compósitos reforçados com duas (CPM_02) e três (CPM_03) camadas de manta de fibra de vidro, reforçados com fibras de vidro particuladas com massa equivalente a duas camadas de manta (CPP_02) e também reforçados com fibras de vidro particuladas massa equivalente a três camadas de manta. A partir da análise foi visto que a adição dos reforços fibrosos proporcionou um aumento da massa específica. O compósito CPM_02 apresentou uma massa específica de 3,8% maior que o compósito de referência, já o COM_03 apresentou um aumento de sua massa específica em 5,2%. E quanto aos compósitos produzidos com fibras particuladas, foi visto que as massas específicas foram próximas aos com as massas específicas dos compósitos reforçados com mantas, como o autor esperava.

5.3. Ensaio de tração uniaxial

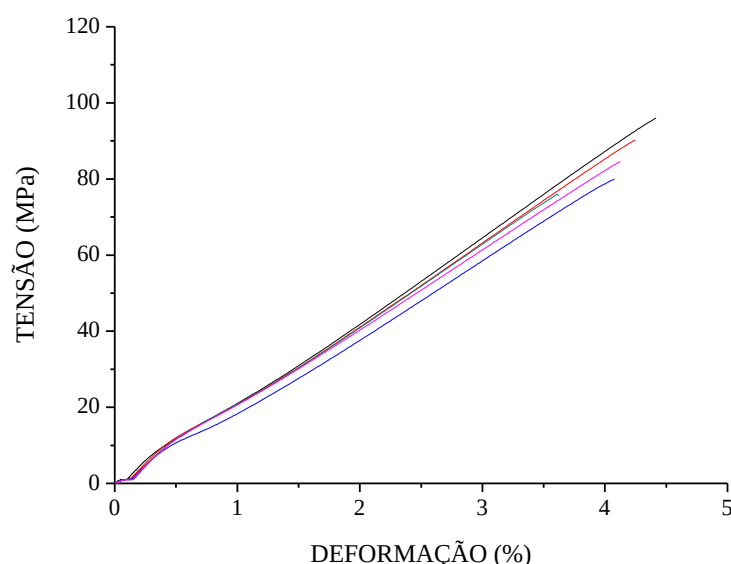
Após a realização dos ensaios, com os resultados obtidos foi possível plotar os gráficos Tensão x Deformação para 5 CPs de cada material, com $L_0=127$ mm e com o seu módulo de elasticidade (calculado para 50% da tensão de ruptura de cada CP). Os resultados serão analisados a seguir:

5.3.1. PRFV

O Gráfico 1 mostra o resultado do ensaio de tração uniaxial nos CPs do compósito polimérico com resina poliéster e 4 camadas de manta de fibra de vidro, com processo de fabricação *hand lay-up*. No Gráfico 1, percebe-se um comportamento predominantemente linear elástico entre a tensão e a deformação. Esse comportamento linear é característico de materiais frágeis como o PRFV (manta), também observado por Tinô (2010).

Destaca-se que Aquino *et al.* (2007) também percebe esse comportamento linear elástico entre a tensão deformação para este tipo de laminado, esta característica é muito presente nos compósitos com resina poliéster reforçados com de fibra de vidro.

Gráfico 1: Tensão x Deformação para ensaio de tração uniaxial para CPs - PRFV.



Fonte – Autor.

Os valores médios obtidos para a tensão, deformação de ruptura e módulo de elasticidade (calculado para 50% da tensão de ruptura) são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Propriedades mecânicas dos CPs - PRFV.

Propriedades mecânicas	Valores médios	Desvio padrão
Deformação (%)	4,11	0,30
Tensão última (MPa)	85,33	7,97
Módulo de Elasticidade (GPa)	2,02	0,08

Fonte – Autor.

Tinô (2010), em sua pesquisa, desenvolveu um compósito de matriz polimérica com a resina poliéster, com 7 camadas de manta de fibra de vidro e processo de fabricação de moldagem manual (*hand lay-up*) com aplicação do ensaio de tração uniaxial e obteve uma resistência última de 93,89 MPa com dispersão de 7,47%, um módulo de elasticidade de 2,21 GPa com dispersão de 4,07% e uma deformação de ruptura de 4,00% com dispersão de 7,50%.

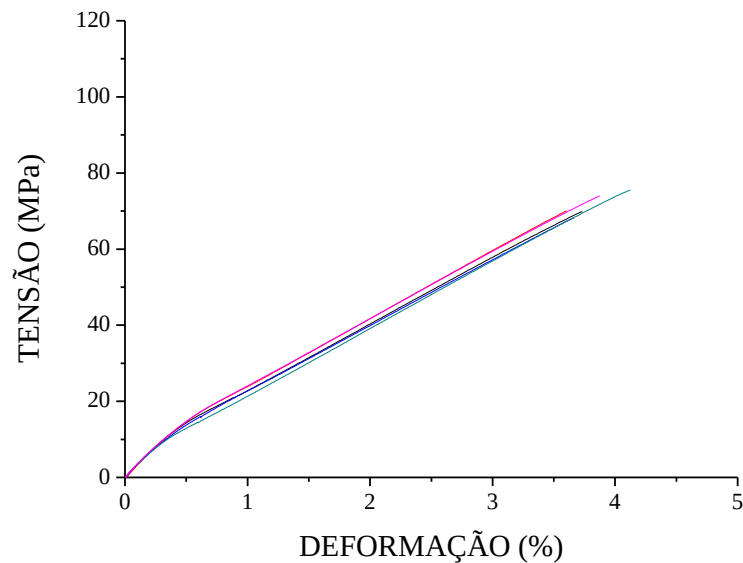
Vieira *et al.* (2016) em seu estudo, analisou a influência do número de camadas da manta de fibra de vidro em compósitos poliméricos, com compósitos reforçados com duas (CPM_02) e três (CPM_03) camadas de manta de fibra de vidro, reforçados com fibras de vidro particuladas com massa equivalente a duas camadas de manta (CPP_02) e também reforçados com fibras de vidro particuladas massa equivalente a três camadas de manta e a partir dos resultados ele observou um comportamento linear.

Para CPM_02 e CPM_03 foram obtidos resultados para resistência a tração de 48.24 MPa e 48,35 MPa, e módulos de elasticidade de 2,58 GPa e 2,77 GPa, respectivamente. E para os CPP_02 e CPP_03 foram obtidos 38,03 MPa e 37,47 MPa de resistência à tração e módulos de elasticidade de 2,92 GPa e 3,17 GPa, respectivamente. Foi percebido que o reforço fibroso aumentou de forma significativa, tanto a resistência à tração dos compósitos como também seu módulo de elasticidade.

5.3.2. PRFV+ $G_{53-90}^{10\%}$

O Gráfico 2 mostra o resultado do ensaio de tração uniaxial para o compósito PRFV com inserção do pó de granito (PRFV+ $G_{53-90}^{10\%}$). É possível perceber que o Gráfico 2 também apresenta um comportamento predominantemente linear elástico de tensão deformação, característica apresentada por materiais frágeis, como o exemplo do compósito polimérico reforçado por fibras.

Gráfico 2: Tensão x Deformação para ensaio de tração uniaxial para CPs - PRFV+ G₅₃₋₉₀^{10%}.



Fonte – Autor.

A Tabela 6 mostra as propriedades mecânicas obtidas, como os valores médios de tensão, deformação de ruptura e módulo de elasticidade.

Tabela 6: Propriedades mecânicas dos CPs - PRFV+ G₅₃₋₉₀^{10%}.

Propriedades mecânicas	Valores médios	Desvio padrão
Deformação (%)	3,81	0,21
Tensão última (MPa)	71,50	3,10
Módulo de Elasticidade (GPa)	2,07	0,76

Fonte – Autor.

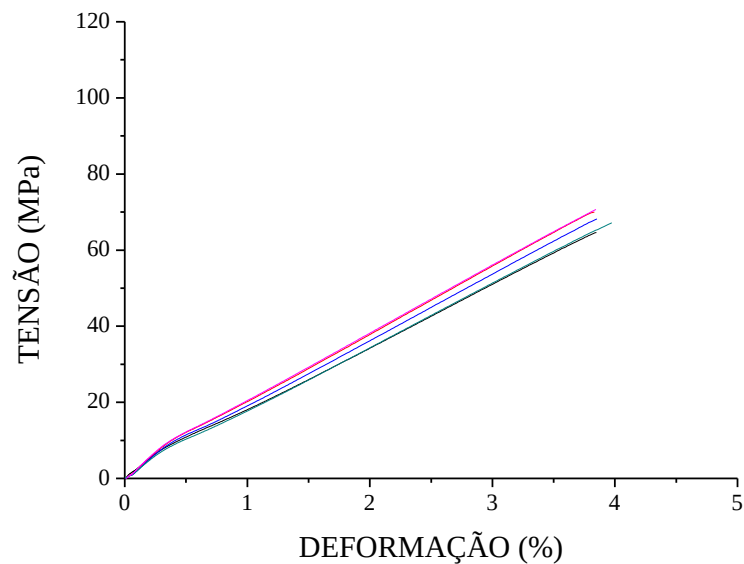
Nascimento (2015) desenvolveu um compósito de matriz polimérica com resina poliéster e reforço particulado, com a inserção de 10% do pó de granito e obteve através do ensaio de tração uniaxial, um resultado de tensão máxima 29,84 MPa, uma deformação normal de 0.03 mm/mm e um módulo de elasticidade de 1,33 MPa. O autor ainda realizou um estudo comparativo com a resina de poliéster e destacou que ao se adicionar o pó de granito obteve um aumento da sua rigidez.

5.3.3. PRFV+ G₉₀₋₁₈₀^{10%}

No Gráfico 3 é apresentado o resultado do comportamento mecânico do compósito PRFV, com a inserção dos 10% granito com granulometria

PRFV+ $G_{90-180}^{10\%}$ sob as condições do ensaio de tração fornecido, este como os demais gráficos visto, também apresentou um comportamento predominantemente linear elástico, característicos deste tipo de material trabalhado.

Gráfico 3: Tensão x Deformação para ensaio de tração uniaxial para CPs - PRFV $G_{90-180}^{10\%}$.



Fonte – Autor.

A Tabela 7 mostra os resultados das propriedades mecânicas fornecidas.

Tabela 7: Propriedades mecânicas dos CPs - PRFV+ $G_{90-180}^{10\%}$.

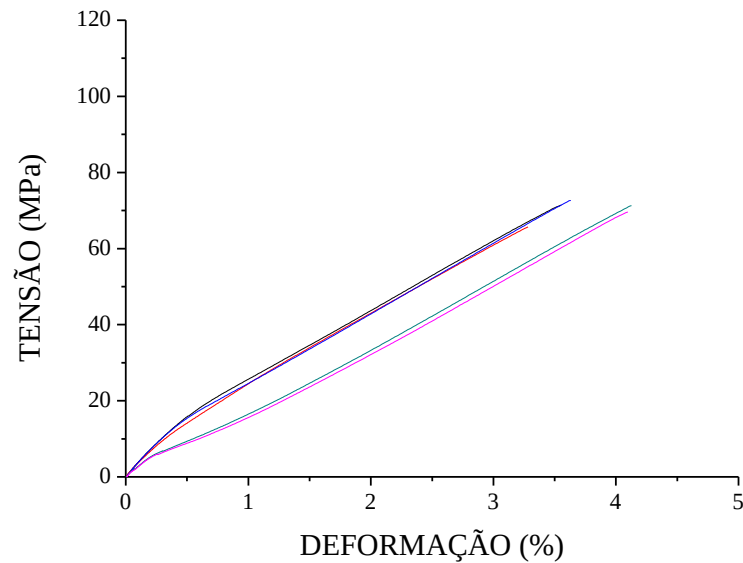
Propriedades mecânicas	Valores médios	Desvio padrão
Deformação (%)	3,88	0,06
Tensão última (MPa)	68,14	2,42
Módulo de Elasticidade (GPa)	1,81	0,10

Fonte – Autor.

5.3.4. PRFV+ $G_{180-300}^{10\%}$

O Gráfico 4 mostra os resultados do ensaio de tração uniaxial nos CPs PRFV+ $G_{180-300}^{10\%}$.

Gráfico 4: Tensão x Deformação para ensaio de tração uniaxial para CPs - PRFV+ $G_{180-300}^{10\%}$.



Fonte – Autor.

Os resultados de tensão, deformação de ruptura e módulo de elasticidade são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8: Propriedades mecânicas dos CPs - PRFV+ $G_{180-300}^{10\%}$.

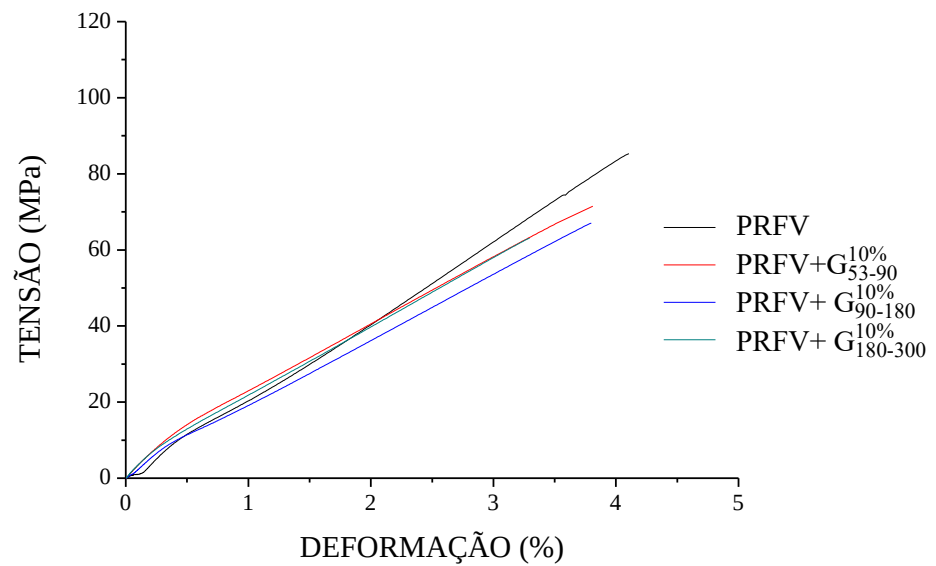
Propriedades mecânicas	Valores médios	Desvio padrão
Deformação (%)	3,75	0,36
Tensão última (MPa)	70,12	2,71
Módulo de Elasticidade (GPa)	2,01	0,34

Fonte – Autor.

5.4. Comparativo do PRFV com diferentes granulometrias

O Gráfico 5 apresenta um gráfico tensão x deformação comparativo das curvas médias obtidas de cada CP (PRFV; PRFV+ $G_{53-90}^{10\%}$; PRFV+ $G_{90-180}^{10\%}$ e PRFV+ $G_{180-300}^{10\%}$), a partir do ensaio de tração uniaxial. E a Figura 33 mostra um gráfico em barras comparativo, com os respectivos desvio padrão, das principais propriedades mecânicas separadamente de acordo com cada tipo de material.

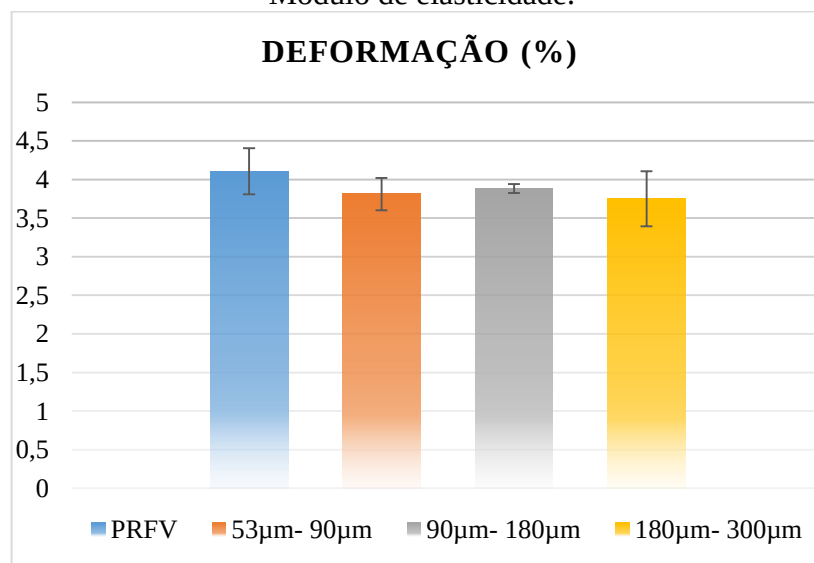
Gráfico 5: Comparativo do PRFV com a inserção do pó de granito com diferentes granulometrias.



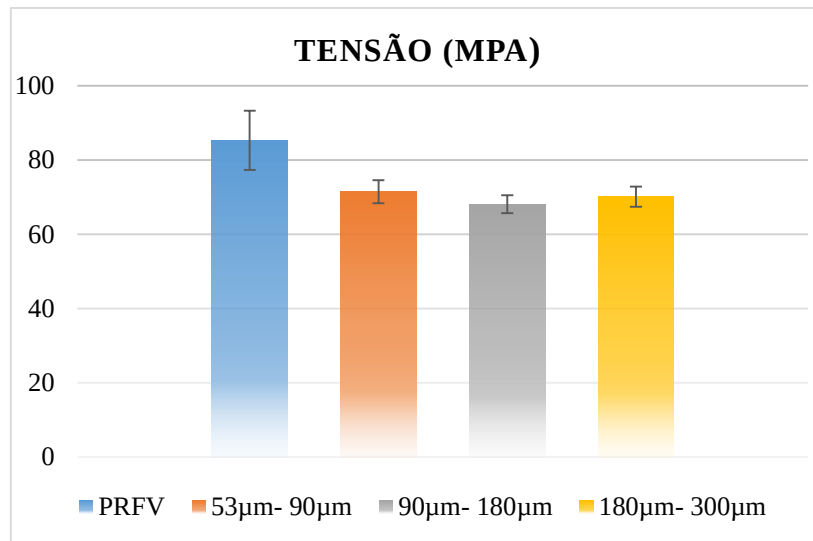
Fonte – Autor.

No Gráfico 5 é possível perceber um comportamento predominantemente linear, como já citado e que a adição do pó de pedra não modificou significativamente esse comportamento, pois todos os materiais apresentam um comportamento semelhante.

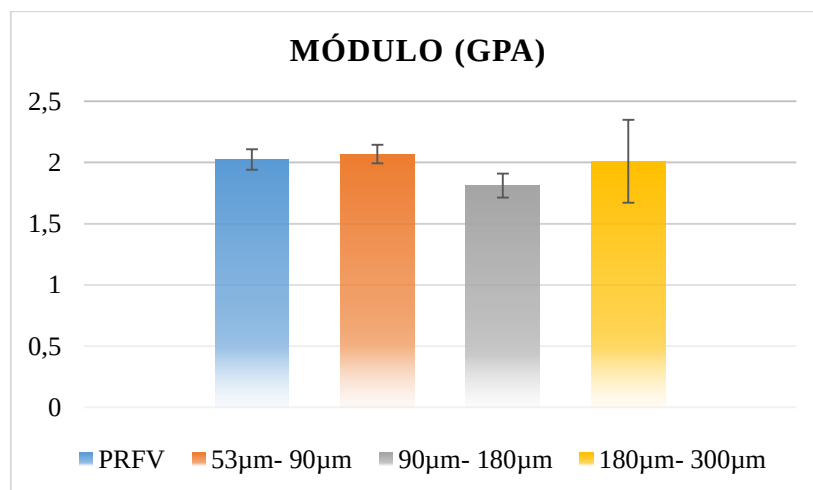
Figura 33: Comparativo das propriedades mecânicas: (a) Deformação; (b) Tensão e (c) Módulo de elasticidade.



(a)



(b)



(c)

Fonte – Autor.

Na Figura 33, foram analisadas as influências das principais propriedades mecânicas nos materiais e o PRFV apresentou um comportamento maior, tanto na tensão (Figura 33 (b)) com valor médio de 85,33 MPa com desvio 7,97 MPa (Tabela 5), como na deformação (Figura 33 (a)) com os valores de 4,11 % com desvio de 0,30 % (Tabela 5).

Ao adicionar o pó de granito e comparar os PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%}, PRFV+ G₉₀₋₁₈₀^{10%}, e PRFV+G₁₈₀₋₃₀₀^{10%} não é visto diferença significativa, tanto na tensão como também na deformação do material, já que quando analisa-se os valores médios juntos aos desvios padrões não existe uma discrepância significativa.

Os valores de tensão média e deformação foram (Tabelas 6, 7 e 8), respectivamente, para PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%} (71,50 MPa e 3,81 %), para PRFV+ G₉₀₋₁₈₀^{10%} (68, 14 MPa e 3,88%) e para PRFV+G₁₈₀₋₃₀₀^{10%} (70, 12 MPa e 3,75%), resultado que mostra a não influência da granulometria

utilizada. Porém, destaca-se que ao adicionar o pó de granito, os laminados apresentaram uma maior espessura, quando comparado com o PRFV, fazendo que os mesmo tenham uma tensão menor, já que tensão é a razão de força sobre a área.

Quando ao módulo de elasticidade, o PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%} apresentou um módulo médio maior do que o PRFV, e o PRFV+ G₉₀₋₁₈₀^{10%} apontou um menor módulo. O de PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%}, com um valor de 2,07 GPa com desvio de 0,76 GPa, já os PRFV apresentou um valor de 2,02 GPa com desvio de 0,08 GPa.

Analisando os três gráficos simultaneamente é perceptível, que tanto para a deformação como também para o módulo de elasticidade o PRFV+G₁₈₀₋₃₀₀^{10%} apresentou um desvio padrão significativamente maior, mostrando uma menor uniformidade no material.

Percebeu-se ainda, que o PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%} obteve um menor desvio padrão, resultado semelhante ao de Nascimento (2015), o qual percebeu que a inserção do pó de granito levou a uma diminuição do desvio padrão do material, possivelmente reduzindo o número de espaços vazios no compósito. Vale salientar, que Nascimento (2015) utilizou particulados de granito também à 10% com mash de #100 à #200 e o trabalho em questão o mash foi de #170 à #270.

6. CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado e da aplicação dos ensaios de tração uniaxial e densidade volumétrica, é perceptível a possibilidade da utilização de resíduos sólidos provenientes de pedreiras (pó de pedra) em compósitos poliméricos com reforços particulados e manta de fibra de vidro, uma vez que foi visto que estes proporcionam uma alteração no comportamento mecânico dos materiais. Pelo que foi estudado, chegou-se as seguintes conclusões:

- Percebeu-se que ao fabricar o compósito, a adição do pó de granito proporcionou um aumento na espessura do material, ocasionado numa possível redução da tensão material;
- A densidade volumétrica dos compósitos com 10% de granito não apresentou uma diferença significativa com a inserção do pó de granito, assim como também com a variação da granulometria;
- Todos os materiais estudados apresentaram um comportamento predominantemente linear no gráfico tensão deformação, característico de materiais frágeis como os compósitos de PRFV;
- Não houve uma diferença significativa quanto a influência do tamanho da granulometria na resistência à ruptura, mas de forma geral, esta proporcionou um maior módulo de elasticidade médio no PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%}, com um valor de 2,07 GPa e desvio de 0,76 GPa;
- O PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%} apresentou um menor desvio padrão, influência da inserção do pó de granito, que possivelmente reduzindo o número de espaços vazios no compósito, percebido assim como Nascimento (2015).

Com os resultados apresentados pelo estudo, é possível concluir que resíduos provenientes das pedreiras podem ser utilizados na construção de novas matérias, como os compósitos (PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%}), unindo características favoráveis (aumento da rigidez) de acordo com as necessidades e contribuindo para a redução dos impactos ambientais proporcionados por estes resíduos industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Renata Jorge de. **Desenvolvimento de material compósito para reforço de dutos de aço**. 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

ALMEIDA, Brivaldo Gomes; DONAGEMMA, Guilherme Kangussú; RUIZ, Hugo Alberto; BRAIDA, João Alfredo; VIANA, João Herbert Moreira; REICHERT, Jose Miguel Maria; OLIVEIRA, Luís Bezerra; CEDDIA, Marcos Bacis; WADT, Paulo Salvador; FERNANDES, Raphael Bragança Alves; PASSOS, Renato Ribeiro; DECHEN, Sônia Carmela Falci; KLEIN, Vilson Antônio; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes. **Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil**. 2012. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96926/1/ComTec-66-Analise-Granulometrica.pdf>>. Acesso em: 05 jun. de 2019.

ALMEIDA, M. I. A. “Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicações na indústria da construção” 2009. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

ANDREOLI, Cleverson V.; ANDREOLI, Fabiana de Nadai; TRINDADE, Tamara Vigolo; HOPPE, Cinthya. Resíduos sólidos: origem, classificação e soluções para destinação final adequada. **Coleção Agrinho**, [S.I.], v. 1, n. 1, p.531-552, set. 2014.

ANEPAC (Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Produção). **Perspectivas para o Setor de Agregados**. 2016. Disponível em:<<http://www.anepac.org.br/anepac/ordenamento-territorial/itemlist/user/915-anepac?start=30>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

AQUINO, E. M. F. Analisis del Comportamiento Mecanico de Laminados Quase- Isotropos PRFV”, Tesi doctoral, Univerdidad Politcnica de Madrid, Madrid, p. 184, 1992.

AQUINO, E. M. F.; SARMENTO, L. P. S.; OLIVEIRA, W; SILVA, R. V.; “Moisture effect on degradation of jute/glass hybrid composites, Journal of Reinforced Plastics and Composite, Vol. 26, N°2, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001**. Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT. 8 p. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001**. Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT. 2 p. 2004.

ASTM D 3039. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 2014.

ASTM D 792. Standard Test Method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.

BACCI, Denise de La Corte; LANDIM, Paulo Milton Barbosa; ESTON, Sérgio Médici de. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 1, p. 47-54, mar. 2006.

BATISTA, A. C. M. Comportamento mecânico de compósitos poliméricos híbridos: Estudos experimentais, analíticos e numéricos. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2017.

BEJAN, Liliana; TARANU, Nicolae; SIRBU, Adriana. Effect of Hybridization on Stiffness Properties of Woven Textile Composites. **Appl Compos Mater**. 20: pp. 185-194. 2013.

CABRAL, Laíse do Nascimento; PEREIRA, Suellen Silva; ALVES, Telma Lucia Bezerra. Degradação ambiental e implicações para a saúde humana decorrentes da mineração: o caso dos trabalhadores de uma pedreira no município de Campina Grande/PB 1. *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, Campina Grande/PB, v. 15, n. 8, p.104-118, dez. 2012.

CALLISTER JÚNIOR, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: Gen. 2012. 845 p.

CARLOS, Glória Maria Leite. **Estudo da descontinuidade geométrica em compósito polimérico reforçado com fibra de juta**. 2018. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2018.

CARVALHO, Adriana Caldas. **Fabricação e caracterização de compósitos à base de resina epóxi e fibras de bananeira. São João del-Rei**. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João Del-rei, São João Del-rei, 2015.

COSTA, João Maria Macedo da. **Diagnóstico sócio ambiental dos resíduos sólidos no município de Angicos-RN**. 2011. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos – RN, 2011.

DALCIN, Gabrieli Bortoli. **Ensaio dos Materiais**. 2007. 41 f. Monografia – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, 2007.

DUARTE, Cláudio. **Fabricação e caracterização de material compósito de resina poliéster reforçado por tecido de fibra de tururi extraído da palmeira de ubucú**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

FRAGAS, Tâmara de; MACIEL, Lucas D.; COELHO, Adenilson R.; PEREIRA, Helena R. S. Análise comparativa da determinação da resistência à compressão em argamassas com pó de pedra em substituição parcial à areia natural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 60. 2016, Águas de Lindóia, Sp. **Anais**. Águas de Lindóia, SP: 2016. p. 830 - 839.

GALVÃO, Alcione Olinto. **Desenvolvimento a análise de material compósito a base de penas de frango (fibras de queratina - KF) e matriz de poliéster insaturado**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

KRZYSCZAK, Fabio Roberto. AS DIFERENTES CONCEPÇÕES DE MEIO AMBIENTE E SUAS VISÕES. **Revista de Educação do Ideau**, Alto Uruguai, v. 11, n. 23, p.1-18, jun. 2016. Semestral.

LOPES, Paulo André Menezes. **Otimização de Estruturas de Materiais Compósitos Laminados, Baseada em confiabilidade, Utilizando Algoritmos Genéticos e Redes Neurais Artificiais**. 2009. 162 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

LUZ, Marta Pereira da. **Aproveitamento de filer de pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos- Avaliação técnica e socioambiental**. 2008. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências do Ambiente, Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

MACEDO NETO, Miguel Cabral de. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de palha de aço**. 2016. 76 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MARTINS, Madson Pereira; AGUIAR, Niander Cerqueira; AZEVEDO, Afonso Rangel Garcez de; ALEXANDRE, Jonas; MONTEIRO, Sergio Neves; MARGEM, Frederico Muylaert; VIEIRA, Carlos Mauricio Fontes. Caracterização do pó de pedra de gnaiss para produção de concreto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 70, 2015, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro: ISSN, 2015. p. 1241 - 1244.

MATERIAL DE CONSTRUÇÃO RJ: PEDRA BRITA. Disponível em:
<<https://materialdeconstrucaorj.com.br/produto/pedra-brita-2/>>. Acesso em: 26 maio 2019.

MENOSSE, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Ilha Solteira – SP, 2004.

MORAES, Alexia Ferreira; BEZERRA, Anine Virgínia Pontes; SCHMIDT, Matthias. **Visita Técnica à pedreira IMCREL**. Maceió- Al: CTEC, 2018. 16 p.

NASCIMENTO, Erick Ramon Medeiros do. **Propriedades mecânicas à tração em compósito de matriz polimérica com cargas minerais**. 2015. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2015.

NOGAMI, Lizandra. **Investigação da influência das características petrográficas e da rugosidade de placas de granitos e mármore fixadas com argamassa**. 2013. 117 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Programa de Pós Graduação em Geotécnica, Universidade de São Paulo, São Carlos- SP, 2013.

OTA, Waldyr Naoki. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004.

PEREIRA, Suellen Silva; CURI, Rosires Catão. Meio Ambiente, Impacto Ambiental e Desenvolvimento Sustentável: Conceituações Teóricas sobre o Despertar da Consciência Ambiental. **Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, Campina Grande, v. 2, n. 4, p.35-57, dez. 2012.

POLETTI, Cleide. **A exploração de Pedreiras na Região Metropolitana de São Paulo no Contexto do Planejamento e Gestão do Território**. 2006. 236 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

RODRIGUES, Leonardo. Pereira. Santiago. **Efeito do envelhecimento ambiental acelerado em compósitos poliméricos**. 2007. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SANTIAGO, Alyson Silvestre; SALES, Emanuele Montenegro; OLIVEIRA, Guilherme Costa de; SOUSA, Antonio Augusto Pereira; OLIVEIRA, Djane Fatima. Diagnóstico Ambiental das marmorarias do estado da Paraíba. In: inovação tecnológica e propriedade intelectual: desafios da engenharia de produção na consolidação do brasil no cenário econômico mundial, 31, 2011, Belo Horizonte- Mg. Encontro nacional de engenharia de produção. Belo Horizonte: Abepro, 2011, p. 1 - 11.

SANTOS, Alexandre Maneira dos. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia**. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SANTOS, Lourdes Regina Correa dos. **Perfil analítico sumário do setor de rochas ornamentais no Brasil**. 2008. 88 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica- RJ, 2008.

SHACKELFORD, James F. Ciência dos Materiais. 6. ed. Perason, 2008.

SILVA, Antonia Tayla. **Propriedades Mecânicas em Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Juta**. 2014. 50 f. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2014a.

SILVA, Isabela Leão Amaral da. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta**. 2014. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciências de Materiais, Engenharia e Ciências de Materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ, 2014b.

SILVA, João Paulo Souza. Impactos ambientais causados por mineração. 2007. 13 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de em Geotécnica Pelo Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SILVA, Karla Carolina Alves da. **Caracterização de compósitos de matriz polimérica com ligas com memória de forma para aplicação em microatuadores**. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SILVA, Suely M. B.; OLIVEIRA, F.M.C.; MELO, E.B.; PONTES, B.M.S. Características físicas e petrográficas dos granitos vermelhos Brasília e ventura e seus usos como revestimento externo. In: Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa poços de caldas-MG, 26, 2015, Caldas - Mg. Caldas - Mg, 2015. p. 1 - 9.

SILVEIRA, Ramiris Petrilho. **Estudo da cadeia produtiva de rochas ornamentais em Santo Antônio de Pádua – RJ e Cachoeiro de Itapemirim – es**. 2017. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes/RJ, 2017.

SMITH, William F.; HASHEMI, Javad. **Fundamentos de Engenharia e Ciências dos Materiais**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh, 2012.

SOBRINHO, Ledjane Lima. **Desenvolvimento de Matriz Polimérica de Material Compósito para Reforço de Dutos de Aço**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SPAREMBERGUER, Raquel Fabiana Lopes; SILVA, Danielle Aita da. A relação homem, meio ambiente, desenvolvimento sustentável e o papel do direito ambiental. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p.81-99, dez. 2005.

TINÔ, Sérgio Renan Lopes. **Descontinuidade na seção transversal em laminados compósitos poliméricos: Efeitos e propriedades**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

TINÔ, Sérgio Renan. Lopes. **Laminados compósitos de PRFV: Efeitos da descontinuidade geométrica e do envelhecimento ambiental acelerado**. 2014. 260f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio grande do Norte, 2014.

VIEIRA, Daniel Rabaça Panichi. **Fabricação de compósitos de matriz polimérica reforçados por fibras naturais**. 2016.. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Engenharia Química e de Materiais, 2016.

VIEIRA, Priscilla Rocha; VIEIRA, Janine; CARVALHO, Eliane Maria Lopes. **Análise das propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro**. **Engevista**, Fluminense, v. 2, n. 18, p.12-12, dez. 2016.