



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INGRID MOREIRA REIS

**INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO RESÍDUO DE MÁRMORE
E GRANITO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM FIBRAS
VEGETAIS DE SISAL**

ANANINDEUA – PA
2019

INGRID MOREIRA REIS

**INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO RESÍDUO DE MÁRMORE
E GRANITO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM FIBRAS
VEGETAIS DE SISAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade
Federal do Pará em cumprimento às exigências para a
obtenção do grau de Bacharela em Ciência e Tecnologia,
com ênfase em Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Deibson Silva da Costa

Coorientadora: Bela. Karla Suellen Lino Barbosa

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo (a) autor (a)

- R375i Reis, Ingrid Moreira
 Influência da granulometria do resíduo de mármore e granito em compósitos
 poliméricos com fibras vegetais de sisal/ Ingrid Moreira Reis, - 2019.
 73.: il. Color.
 Orientador (a): Prof. Dr. Deibosn Silva da Costa
 Coorientador (a): Bela. Karla Suellen Lino Barbosa
 Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Ciência e Tecnologia,
 Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará,
 Ananindeua, 2019.
1. Compósitos. 2. Resíduo de mármore e granito. 3. Fibras vegetais. 4.
 Polímeros. I. Título.

INGRID MOREIRA REIS

**INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO RESÍDUO DE MÁRMORE
E GRANITO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM FIBRAS
VEGETAIS DE SISAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade
Federal do Pará em cumprimento às exigências para a
obtenção do grau de Bacharela em Ciência e Tecnologia
com ênfase em Mecânica.

Data de aprovação: 32/32/39

Conceito: Exatante

Banca Examinadora:

Deibson Silva da Costa

Prof. Dr. Deibson Silva da Costa

(FEMAT/CAMPANIN/UFPA – Orientador)

Karla Suellen Lino Barbosa

Bela. Karla Suellen Lino Barbosa

(PPGEQ/ITEC/UFPA – Coorientadora)

Disterfano Lima Martins Barbosa

Prof. Me. Disterfano Lima Martins Barbosa

(FaCT/CAMPANIN/UFPA – Examinador Interno)

Daniel José Lima de Sousa

Prof. Dr. Daniel José Lima de Sousa

(FaCT/CAMPANIN/UFPA – Examinador Interno)

Dedico este trabalho aos meus pais e aos meus irmãos que sempre me deram forças e acreditaram no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois sem ele nada nessa vida é possível.

A minha família, principalmente ao meu pai que foi fundamental no desenvolvimento desse trabalho e sempre foi minha base de sustento nos bons e maus momentos.

A minha melhor amiga, Adrielly Souza, mesmo estando longe, sempre acreditou na minha capacidade.

Ao meu namorado, por estar comigo durante o andamento do presente trabalho.

A minha amiga, Gabrilly Monteiro por estar comigo desde o início do curso sempre me fazendo sorrir e por sua colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas, Adriane e William, por me ajudarem no desenvolvimento experimental deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Deibson Silva Costa, pela oportunidade e orientação deste trabalho.

A minha coorientadora, Karla Suellen Lino Barbosa, pelas ajudas e cobranças, sem a sua pressão não seria possível a conclusão do presente trabalho.

“A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento”

(Platão)

RESUMO

Com o desenvolvimento industrial, a busca por novos materiais que possam substituir os materiais convencionais tornou-se intensa, criando assim, um interesse por parte das empresas em investir na qualidade dos produtos de forma sustentável e econômica. Com base nessas considerações, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da granulometria do resíduo de mármore e granito em compósitos poliméricos com fibras vegetais de sisal. O método utilizado neste trabalho foi o processo de fabricação de laminação manual (*hand lay up*), onde foram confeccionados compósitos híbridos nas frações mássicas de resíduo de mármore e granito de 5 %, 10 %, 15 % e 20 % e incorporadas fibras de sisal na fração de 3 %. O resíduo foi proveniente da empresa Brilasa Britagem e Laminação de Rochas S/A, o qual foi peneirado manualmente em peneira de granulometria de 100 e 200 Meshs. As fibras foram fornecidas pela empresa SISALSUL, situada no Estado de São Paulo, as quais foram cortadas manualmente no comprimento de 15 mm. A matriz polimérica utilizada foi à resina poliéster isoftálica em conjunto com o acelerador de cobalto (1,5 % v/v) e o catalisador MEK-P (1 % v/v). Após a confecção das placas, foram obtidos os corpos de provas para cada série fabricada para a realização dos ensaios de caracterização física por meio da massa específica aparente (ASTM D 792), absorção de água (ASTM D 570) e porosidade aparente (ASTM D 2734), além dos ensaios de flamabilidade horizontal (ASTM D 635) e de resistência à tração (ASTM D 3039). As análises da superfície de fratura foram feitas através da microscopia eletrônica de varredura. O ensaio de flamabilidade mostrou que os compósitos apresentaram classificação HB segundo a norma ASTM D 635 e atenderam as especificações do CONTRAN/2014, na qual a carga de 20 % RMG / 3 % FS na granulometria de 100 e 200 Meshs obtiveram uma redução de aproximadamente 16 % e 29 %, respectivamente. Nos ensaios de tração houve aumento na resistência, onde as proporções de 5 % RMG / 3 % FS com granulometria de 100 Mesh e 10 % RMG / 3 % FS na granulometria 200 Mesh obtiveram uma resistência de aproximadamente 22 MPa e 19 MPa, respectivamente. As análises morfológicas das superfícies de fratura foram eficazes para a determinação dos fenômenos de falhas presentes nos materiais, onde os mecanismos predominantes foram fibras rompidas e a ocorrência de descolamento de fibra da matriz (*pull- out*).

Palavras-chave: Compósitos. Resíduo de Mármore e Granito. Fibras Vegetais. Polímeros.

ABSTRACT

With industrial development, the search for new materials that can replace conventional materials has become intense, thus creating an interest on the part of companies to invest in the quality of products in a sustainable and economic way. Based on these considerations, this paper aims to evaluate the influence of marble and granite residue particle size on sisal vegetable fiber polymer composites. The method used in this work was the hand lay up manufacturing process, where hybrid composites were made in the mass fraction of marble and granite residue of 5%, 10%, 15% and 20% and incorporated sisal fibers. in the 3% fraction. The residue was sourced from Brilasa Britagem e Laminando de Rochas S / A, which was manually sieved in a 100 and 200 mesh sieve. The fibers were supplied by the company SISALSUL, located in the state of São Paulo, which were manually cut to a length of 15 mm. The polymeric matrix used was the isophthalic polyester resin together with the cobalt accelerator (1.5% v / v) and the MEK-P catalyst (1% v / v). After making the plates, the specimens were obtained for each series manufactured for the physical characterization tests by apparent specific mass (ASTM D 792), water absorption (ASTM D 570) and apparent porosity (ASTM D 2734), in addition to the horizontal flammability (ASTM D 635) and tensile strength (ASTM D 3039) tests. Fracture surface analyzes were performed by scanning electron microscopy. The flammability test showed that the composites presented HB classification according to ASTM D 635 and met the specifications of CONTRAN / 2014, in which the load of 20% RMG / 3% FS in the 100 and 200 mesh size obtained a reduction of approximately 16% and 29%, respectively. In tensile tests there was an increase in strength, where the proportions of 5% RMG / 3% FS with 100 Mesh and 10% RMG / 3% FS with 200 Mesh obtained a resistance of approximately 22 MPa and 19 MPa, respectively. The morphological analyzes of the fracture surfaces were effective to determine the failure phenomena present in the materials, where the predominant mechanisms were ruptured fibers and the occurrence of pull-out of the matrix fiber.

Keywords: Composites. Marble and Granite Residue. Vegetable fibers. Polymers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fases constituintes dos compósitos.....	18
Figura 2 - Fluxograma da classificação dos compósitos.....	19
Figura 3 – Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.....	22
Figura 4 – Estrutura química da resina de poliéster isoftálica.....	25
Figura 5 – Gráfico da evolução da produção mundial de rochas ornamentais (milhões de toneladas/ano)	27
Figura 6 - Bacia de decantação dos resíduos gerados do corte de blocos de granito.....	28
Figura 7 – Fluxograma das etapas do beneficiamento das rochas ornamentais.....	29
Figura 8 – Fluxograma da classificação das fibras.....	30
Figura 9 – Fotografia da planta Agave sisalana.....	32
Figura 10 – Ilustração das utilizações da fibra de sisal.....	33
Figura 11– Fotografia das etapas do beneficiamento da fibra de sisal.....	34
Figura 12 – Fluxograma dos tipos de processos de fabricação.....	35
Figura 13 – Equipamentos: (a) estufa, (b) balança analítica, (c) prensa hidráulica e (d) molde metálico.....	36
Figura 14 – Materiais: (a) Resina poliéster Isoftálica, (b) Acelerador de cobalto (c) Iniciador MEK-P.....	37
Figura 15 – Resíduo de mármore e granito.....	37
Figura 16 – Fibra de sisal fornecida pela empresa SISALSUL.....	38
Figura 17 – Processo de corte das fibras de sisal.....	39
Figura 18 – Resíduo obtido após o beneficiamento.....	39

Figura 19 – Esquema das placas retangulares confeccionadas.....	40
Figura 20 – Processo de produção dos compósitos reforçados com fibra de sisal.....	42
Figura 21 – Máquinas de corte.....	42
Figura 22 – Equipamento de DRX.....	43
Figura 23 – Microscópio eletrônico de varredura.....	44
Figura 24 – (a) Etapa de confecção e (b) corpos de prova utilizados nos ensaios.....	45
Figura 25 - (a) Representação esquemática do ensaio realizado e (b) Queima do corpo de prova durante o ensaio.....	46
Figura 26 – Dimensões em mm dos corpos de prova para ensaio de tração.....	46
Figura 27 – (a) Máquina Universal de ensaios, (b) Corpos de prova.....	47
Figura 28 – Amostras para análise.....	48
Figura 29 – Difração de raio-X do resíduo de mármore e granito.....	49
Figura 30 – Micrografias obtidas através do MEV da fibra de sisal. (a) Aumento 250x. (b) Aumento 400x.....	50
Figura 31 – Micrografias obtidas por MEV do resíduo mármore e granito de 100 mesh. (a) Aumento 60 x (b) Aumento 150 x.....	51
Figura 32 – Micrografias obtidas por MEV do resíduo mármore e granito de 200 mesh. (a) Aumento 60 x. (b) Aumento 150 x.....	51
Figura 33 – Gráfico de barra comparativo da resistência à tração do dos compósitos na granulometria 100 mesh.....	58
Figura 34 – Superfícies fraturadas do compósito 5 % RMG + 3 % FS.....	59
Figura 35 – Gráfico de barra comparativo da resistência à tração do dos compósitos na granulometria 200 mesh.....	61
Figura 36 – Superfícies fraturadas do compósito 10 % RMG + 3 % FS.....	62

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Principais métodos utilizados para análise granulométrica.....	21
Tabela 2 – Propriedades físicas e mecânicas de fibras naturais.....	23
Tabela 3 – Comparação entre os processos de fabricação dos compósitos.....	35
Tabela 4 – Valores para a confecção de placa de matriz plena.....	40
Tabela 5 – Valores para a confecção de placas fibra/resíduo.....	41
Tabela 6 – MEA, AA E PA dos compósitos com resíduo de RMG - 100 mesh e fibra de sisal (FS) 15mm.....	52
Tabela 7 – MEA, AA E PA dos compósitos com resíduo de RMG - 200 mesh e fibra de sisal (FS) 15 mm.....	53
Tabela 8 – Resultado do ensaio de flamabilidade horizontal –RMG 100 mesh e fibra de sisal (FS) 15 mm.....	55
Tabela 9 – Resultado do ensaio de flamabilidade horizontal –RMG 200 mesh e fibra de sisal (FS) 15 mm.....	56
Tabela 10 – Resultados do ensaio de tração de compósitos de RMG-100 mesh e fibra de sisal (FS) 15 mm.....	57
Tabela 11 – Resultados do ensaio de tração de compósitos de RMG-200 mesh e fibra de sisal (FS) 15 mm.....	60
Tabela 12 – Comparação das propriedades mecânicas dos compósitos em estudo e alguns compósitos poliméricos com resíduos industriais encontrados na literatura.....	63
Quadro 1 – Tipos de resinas e suas características e aplicações.....	20
Quadro 2 – Características apresentadas pelos compósitos poliméricos.....	26

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

MAPA	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SINDIFIBRAS	Sindicato das Indústrias de Fibras Vegetais no Estado da Bahia
RTM	Resin Transfer Molding
MEK-P	Peróxido de metil etil cetona
Co	Cobalto
UFPA	Universidade Federal do Pará
ASTM	American Society for Testing and Materials
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
FS	Fibra de sisal
0 % RMG / 0 % FS	0 % Resíduo de mármore e granito / 0% Fibra de sisal
5 % RMG / 3 % FS	5 % Resíduo de mármore e granito / 3% Fibra de sisal
10 % RMG / 3 % FS	10 % Resíduo de mármore e granito / 3% Fibra de sisal
15 % RMG / 3 % FS	15 % Resíduo de mármore e granito / 3% Fibra de sisal
20 % RMG / 3 % FS	20 % Resíduo de mármore e granito / 3% Fibra de sisal
FB	Fibra de bambu
FJ	Fibra de juta
FC	Fibra de coco
RMG	Resíduo de Mármore e Granito
RC	Resíduo de caulim
m_s	Massa seca
m_u	Massa úmida
m_i	Massa imersa
MEA	Massa específica aparente
PA	Porosidade aparente
AA	Absorção de água

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa.....	15
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo geral.....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Compósitos.....	18
2.1.1 Classificação dos compósitos	19
2.1.2 Compósitos poliméricos	19
2.1.3 Compósitos com carga particulada	21
2.1.4 Compósitos com a inserção de fibras vegetais	22
2.1.5 Compósitos híbridos.....	23
2.2 Polímeros	24
2.2.1 Resina de poliéster insaturada isoftálica.....	25
2.3 Rochas ornamentais	26
2.3.1 Resíduo de mármore e granito	27
2.3.1.1 Funcionamento do beneficiamento do mármore e granito	29
2.4 Origem das fibras vegetais	30
2.4.1 Fibra de sisal	31
2.5 Processo de fabricação de compósitos	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1 Equipamentos utilizados	36
3.2 Materiais utilizados	36
3.2.1 Materiais sintéticos.....	36
3.2.2 Resíduo de mármore e granito	37
3.2.3 Fibras de sisal.....	38
3.3 Métodos.....	38
3.3.1 Desagregação do resíduo de mármore e granito	39
3.3.2 Corte das fibras de sisal	38
3.3.3 Produção dos compósitos	39
3.3.3.1 Etapas de produção dos compósitos.....	40
3.3.5 Difração Raios -X.....	43

3.3.6	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	43
3.3.7	Ensaio realizado.....	44
3.3.7.1	Ensaio físico.....	44
3.3.7.2	Ensaio de inflamabilidade.....	45
3.3.7.3	Ensaio de resistência a tração.....	46
3.3.8	Fractografia.....	47
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1	Difração de Raios - X do resíduo de mármore e granito.....	49
4.2	Morfologia.....	50
4.3	Ensaio físico.....	52
4.4	Ensaio de inflamabilidade.....	54
4.5	Ensaio de tração.....	57
5.	CONCLUSÕES.....	64
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	66
	REFERÊNCIAS.....	67

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A área dos compósitos criou destaque por apresentar a união de propriedades que os materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos não apresentam individualmente. Um importante exemplo de carga utilizada nos compósitos encontra-se nas rochas ornamentais, setor de grande atuação no mercado de trabalho, por meio do beneficiamento onde a produção de resíduos é alarmante. Logo a busca pela reutilização desses resíduos na produção de novos produtos ganhou interesse por parte dos ambientalistas visando minimizar os impactos ambientais oriundos do descarte indevido dos resíduos minerais.

No Brasil, as rochas ornamentais são produzidas de forma crescente no setor industrial, como destaque os minérios de granito e o mármore. Em consequência disso, o beneficiamento desses minérios realizados por empresas acarreta acúmulo de resíduos oriundos dos processos pelo quais passam, como corte, serragem e polimento. Além disso, na maioria das situações o descarte desses resíduos ocorre de maneira incorreta. Devido a isso, a busca por métodos que ajudem a melhorar essa negativa ambientalista tem se tornado constante.

De acordo com Freire e Motta (1997), o setor econômico contribui de forma significativa com a geração de materiais sem fins adequados, propiciando o desperdício de matéria prima e insumos. Por outro lado, afirma que o uso de tratamentos adequados para esses resíduos pode resultar no reaproveitamento destes materiais.

Com base na ideia da reutilização dos resíduos provenientes do beneficiamento dos minérios, Rodrigues (2016), afirma que uma alternativa seria empregar o resíduo na produção de outros produtos. Em vista disso, essa solução poderia ajudar em questões ambientais e sociais, como a problemática da disposição e estocagem incorreta dos resíduos.

Uma aplicação promissora desses resíduos é a utilização como carga em compósitos na construção civil e na indústria cerâmica, pois são áreas propícias para uso, sendo um material de baixo custo e com fonte altamente disponível na indústria brasileira, além da melhoria das propriedades mecânicas, tais como a resistência mecânica e a dureza.

Um fator importante a ser ressaltado é a influência da granulometria do resíduo nos compósitos poliméricos. De acordo com Castro e Pandolfelli (2009), a distribuição granulométrica é de fundamental importância no processo de mistura de um material, onde as propriedades físicas quanto a porosidade são influenciadas pela uniformidade da distribuição

das partículas, na qual garantem uma melhor compactação e preenchimento de vazios existentes entre os grãos.

“A determinação da granulometria é realizada a partir da quantidade de matéria que consegue passar pelas aberturas de malhas de peneiras, sendo o tamanho da partícula definido por meio de peneiras com diâmetros diferentes” (CAPUTO, 1995).

Para o reforço nos compósitos poliméricos há a incorporação das fibras vegetais ou partículas, no qual resultam no aumento da rigidez e resistência do material. Atualmente o interesse no uso das fibras vegetais como reforço nos compósitos vem intensificando-se, em comparação as fibras sintéticas. Isso ocorre devido ao custo benefício e as vantagens ambientais, por serem biodegradáveis e não tóxicas.

Em meio a abundância das fibras vegetais existentes, pode-se destacar a fibra de sisal, de acordo com Joseph, Medeiros e Carvalho (1999) as propriedades presentes nas fibras correspondem as necessidades da fabricação dos compósitos poliméricos. Sendo elas, a elevada resistência ao impacto e a moderada resistência a tração e flexão. Além de apresentar facilidade desde o cultivo ao beneficiamento.

Sendo assim, o ramo industrial dos materiais compósitos cada vez mais necessita do desenvolvimento de novos materiais, com características distintas, mas com propriedades eficazes, dessa forma a junção do resíduo mármore e granito e a inserção da fibra de sisal resulta-se na obtenção de um material útil e eficaz para o mercado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Verificar a influência da granulometria do Resíduo de Mármore e Granito (RMG) em compósitos poliméricos com Fibras de Sisal (FS).

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Fabricar compósitos híbridos de matriz polimérica com resíduo de mármore e granito e fibras de sisal nas proporções em massa pré-determinadas de 5 % RMG / 3 % FS, 10 % RMG / 3 % FS 15 % RMG / 3 % FS e 20 % RMG / 3 % FS.
- b) Analisar o comportamento mineralógico do resíduo de mármore e granito.

- c) Avaliar a influência da morfologia do resíduo, fibras e suas frações mássicas nas propriedades dos compósitos fabricados.
- d) Analisar as propriedades físicas de Massa Específica Aparente (MEA), Porosidade Aparente (PA) e Absorção de Água (AA) nos compósitos fabricados.
- e) Avaliar a flamabilidade (resistência à chama) de compósitos de matriz polimérica com resíduo de mármore e granito e fibras de sisal das séries fabricadas.
- f) Avaliar o comportamento mecânico (tração) dos compósitos das séries fabricadas.
- g) Analisar, por fractografia, os mecanismos de falhas dominantes para cada série de compósitos produzida e correlacionar as propriedades dos compósitos com seu aspecto fractográfico.

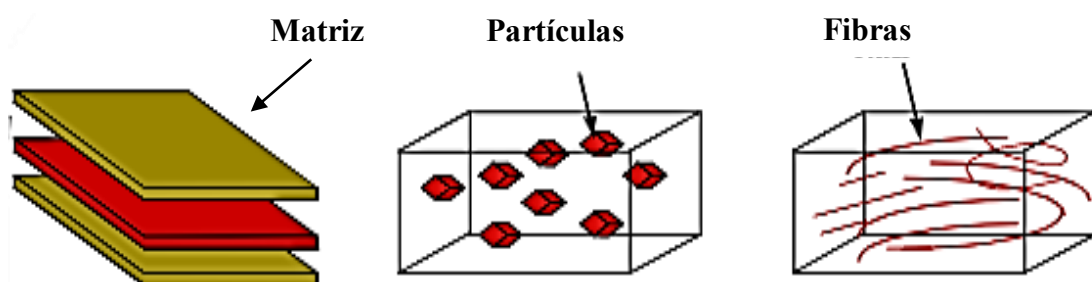
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Compósitos

Com o avanço industrial, a busca por materiais com combinações de propriedades trouxe reconhecimento para uma nova classe distinta dos materiais convencionais (cerâmico, polímero e metálico), sendo estes os materiais compósitos. Na qual, consistem na combinação de dois ou mais materiais com o objetivo de formar um novo produto com propriedades distintas dos constituintes originais (CALLISTER, 2016).

Conforme Callister (2016) a produção desses materiais constitui dois tipos de fases que devem ser tratadas quimicamente diferentes e estar separadas por uma interface distinta. Sendo elas, a fase dispersa, que pode ser representada na forma de partículas ou fibras e a fase contínua, denominada de matriz. A Figura 1 representa a ilustração das fases dos compósitos.

Figura 1. Fases constituintes dos compósitos



Fonte: Santo (2016)

A fase contínua presente nos compósitos, tem como função manter as fibras orientadas mediante a sua distribuição e ao seu espaçamento. Além de promover a transmissão de forças cisalhantes entre as camadas das fibras presentes no compósito, tornando o material mais resistente a possíveis agressões externas (MARTINS NETO, 2010).

De acordo com Demar (2009) as inúmeras aplicações tecnológicas necessitam de combinações de propriedades que não são encontradas nos materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos. No entanto, ele afirma que a produção de um novo produto se torna desnecessária, mediante a existência de um material já produzido, onde pode ser modificado por meio da incorporação de outro material acessível.

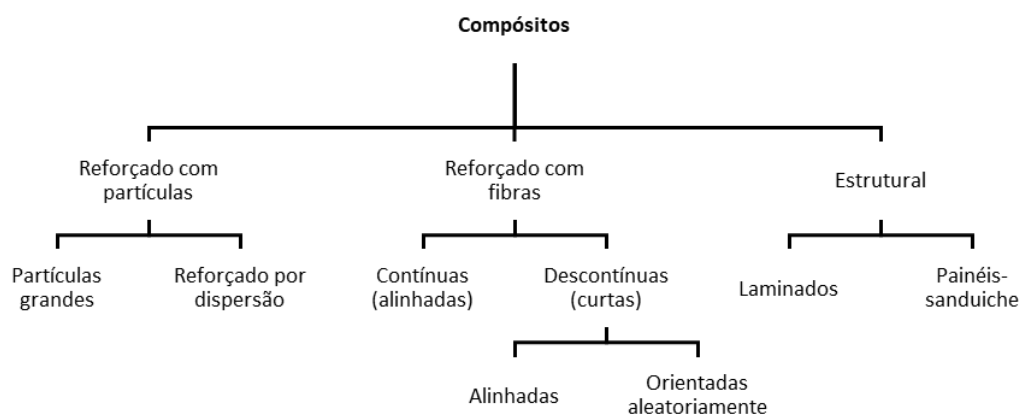
A inserção dos compósitos nas classes dos diversos materiais trouxe benefícios tanto industrialmente quanto economicamente, pois com o aproveitamento da junção de propriedades

de materiais já existentes para a obtenção de novos produtos, acarreta na redução de custos e na criação de condições mais favoráveis para o desenvolvimento de novos compósitos.

2.1.1 Classificação dos compósitos

Com base na ampla utilidade de materiais presentes na produção das diferentes fases, os compósitos podem ser classificados em três grupos, diferenciados por meio do material reforçante, tais como reforço das partículas, das fibras ou compósitos estruturais. A Figura 2 apresenta o fluxograma desta classificação.

Figura 2 - Fluxograma da classificação dos compósitos



Fonte: Callister (2016)

Uma característica relevante dos compósitos reforçados com fibra, é a propriedade da resistência mesmo sendo um material de caráter leve. De acordo com Martins Neto (2016), os compósitos podem apresentar propriedades mais resistentes do que o aço, mesmo possuindo uma estrutura com um peso relativamente menor, sendo somente de 1/5 do peso do aço.

2.1.2 Compósitos poliméricos

A principal finalidade de uma matriz em um material é atuar como um meio de transferência de carga para reforços através de cisalhamento e oferecer proteção a este reforço. Os compósitos com matriz polimérica são constituídos de duas fases, sendo elas uma resina polimérica como matriz e com fibras como o meio de reforço. Esses materiais possuem uma

variedade de aplicações dos compósitos em razão das suas propriedades térmicas, facilidade de fabricação e do seu baixo custo (CALLISTER, 2016).

Segundo Costa (2012), os materiais polímeros são constituídos em duas classes, são elas: continua polimérica, ou seja, plástico, seguida da fase descontinua, sendo reforçada por meio fibroso. Na qual, após um processo físico químico, chamado de polimerização, ocorre a agregação dos materiais, em razão disso os compósitos poliméricos também são denominados de plásticos reforçados com fibras.

Os compósitos poliméricos representam uma relevante importância dentro do grupo das misturas poliméricas imiscíveis, pois embora eles não se dissolvam ou se descaracterizem completamente, atuam associadamente e as propriedades do composto são na maioria das vezes superiores aos dos componentes individuais (MARTINS NETO, 2016).

Em razão das suas variedades de aplicações no meio industrial, os compósitos poliméricos apresentam características relevantes para seu emprego nas produções dos produtos. O Quadro 1 mostra alguns tipos de características encontradas nos compósitos poliméricos.

Quadro 1 - Características apresentadas pelos compósitos poliméricos

Leveza	Devido ao peso específico das resinas e das fibras os compósitos poliméricos apresentam um baixo peso específico.
Resistência Química	Materiais com excepcional inércia química, permitindo sua utilização em ambientes agressivos quimicamente.
Durabilidade	Material de alta durabilidade em consequência de sua composição e das ligações poliméricas cruzadas formadas durante o processo de moldagem.
Resistencia Mecânica	Apresentam excelente resistência mecânica devido a suas características e a variedade de combinações que podem ser realizadas entre as resinas e os materiais de reforço.
Resistencia às Intempéries	Grande resistência aos problemas causados pelos ventos, a umidade, o sol e as mudanças térmicas.
Facilidade na Manutenção	Sujeitos a fáceis e simples técnicas de manutenção.
Flexibilidade Arquitetônica	Os compósitos tem grande vantagem sobre os materiais estruturais, devido a sua fácil modelagem formas complexas.

Fonte: Martins Neto (2016)

2.1.3 Compósitos com carga particulada

Os compósitos reforçados com partículas possuem duas subclassificações, tais como compósitos com partículas grandes e os compósitos reforçados por dispersão. Na qual, a diferença entre eles está baseada no mecanismo de reforço ou aumento da resistência (CALLISTER, 2016).

Uma das características dos compósitos reforçados com partículas grande, é o aumento do endurecimento e da rigidez da fase particulada comparada com a matriz. Um exemplo de material compósito reforçado com partículas grande é o concreto, composto por cimento, que consiste na sua fase matriz e a areia e brita correspondem a fase particulada (CALLISTER, 2016).

Para os compósitos reforçados por dispersão ocorre a diminuição das partículas, com diâmetros variantes entre $0,01 \mu m$ e $0,1 \mu m$, (o que equivale 10 nm e 100 nm). A relação entre a fases matriz e a partícula é de grande relevância para as propriedades dos compósitos produzidos, uma vez que a interação entre elas resulta no aumento da resistência a nível atômico ou molecular. Onde a fase matriz é responsável por comportar a maior parte da carga aplicada, enquanto as partículas possuem a função de impedir o movimento das discordâncias (CALLISTER, 2016).

A definição da granulometria de uma partícula depende do método empregado. Os tipos de métodos mais utilizados são peneiramento, sedimentação e elutriação (BRUM, 2017). A Tabela 1 mostra os principais métodos para a determinação do tamanho de uma partícula.

Tabela 1 - Principais métodos utilizados para análise granulométrica

Método	Faixa de aplicação (μm)
Peneiramento	100.000 – 37
Subpeneiramento	75 – 10
Microscopia ótica	50 - 0,25
Centrifugação	40 – 5
Sedimentação (gravitacional)	40 – 1
Microscopia eletrônica	1 - 0,005
Espalhamento laser	2000 - 0,1

Fonte: Brum (2017)

Com base nos métodos da Tabela 1, o que mais se destaca é o peneiramento, em razão da sua simplicidade, baixo custo e constituir variadas faixas de tamanhos. Algumas especificações das peneiras são padronizadas, tais como a forma das aberturas, diâmetro dos fios, função da malha e os tamanhos e formatos das peneiras.

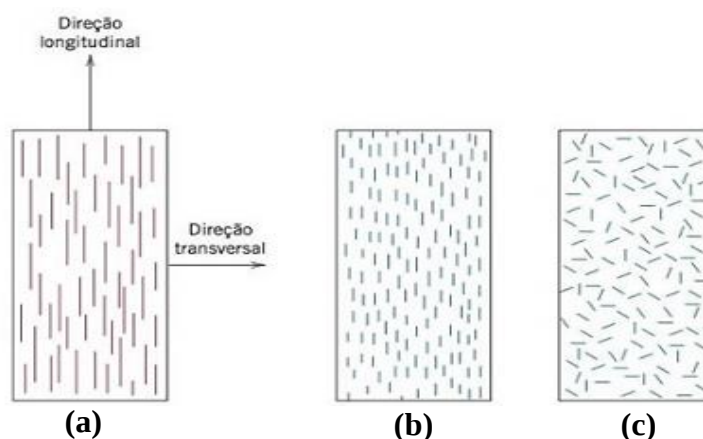
2.1.4 Compósitos com a inserção de fibras vegetais

Conforme Levy Neto e Pardini (2006), a utilização de fibras naturais de origem vegetal em compósitos aumentou significativamente em virtude dos aspectos ambientais, sociais e econômicos. Um dos fatores de maior preocupação na atualidade está ligado a escassez dos recursos energéticos e minerais, portanto a busca por matérias primas sustentáveis e de baixo custo se tornou um fator relevante nos ramos das pesquisas que estudam o uso das fibras em matrizes poliméricas.

Em relação ao tipo de fibra utilizada com reforço para os compósitos, podem ser sintéticas ou naturais, onde a orientação das fibras umas em relação as outras, a concentração e a forma como ocorre a distribuição apresentam influência significativas nas propriedades físico e mecânicas dos compósitos (MILANESE, 2008).

A fase considerada mais importante nos compósitos reforçados com fibras, é a dispersa, que consiste na produção de compósitos fibrosos mais resistentes e de peso específico baixo tanto para a fibra quanto para a matriz. A disposição das fibras pode ocorrer de forma contínua ou descontínua, na forma alinhada ou alinhada de forma aleatória ou parcial (BRANDÃO, 2015). A Figura 3 mostra as representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras.

Figura 3 - Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.



Fonte: Callister (2016)

Os compósitos reforçados com fibras apresentam propriedades de alta resistência e rigidez em relação ao peso. Essas características podem ser representadas matematicamente, mediante as razões entre o limite de resistência à tração e o peso específico e entre o módulo de elasticidade e o peso específico (CALLISTER, 2016). A Tabela 2 apresenta as propriedades físicas e mecânicas das fibras naturais.

Tabela 2 - Propriedades físicas e mecânicas de fibras naturais.

Tipo de fibra	Limite de resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Densidade (g/cm³)
Sisal	126-800	3,8-62,0	1,27-1,50
Coco	95-149	3,3-5,1	1,18-1,45
Juta	320-500	1,3-2,8	1,50
Rami	392-900	7,3-25,0	1,51
Piaçava	143	5,6	1,05

Fonte: Levy Neto e Pardini (2006)

Uma das fibras vegetais de maior destaque como reforço em compósitos poliméricos, é a fibra de sisal, planta denominada *Agave sisalana*, onde apresenta a maior produção mundial provinda do Brasil. As propriedades oriundas desse tipo de planta são variante, pois a resistência a tração e a rigidez não são uniformes ao longo das mesmas. Portanto para a fabricação de compósitos com inserção de fibras vegetais, além de serem analisadas criteriosamente as propriedades mecânicas dos compósitos, é levado em consideração os grupos químicos dos tipos de fibras (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

2.1.5 Compósitos híbridos

Segundo Callister (2016) os compósitos híbridos constituem a combinação de diferentes tipos de reforços unidos pela combinação de diferentes tipos de fibras imersas na mesma fase reforçadora, no qual esses materiais possibilitam a projeção de compósitos com propriedades melhores. As principais aplicações industriais desses materiais compósitos híbridos encontram-se nos transportes aéreos, aquáticos e componentes ortopédicos, os quais são estruturas que necessitam de materiais com propriedades de baixo peso.

De acordo com Cao e Camero (2006) os compósitos híbridos se destacam em razão do seu desempenho mecânico, o que ocasiona diversos estudos relacionados ao material, por

exemplo, a fabricação de compósitos híbridos de matriz polimérica com fibras de reforço e nano/micropartículas de minerais cerâmicos. Além disso, Carvalho e Cavalcanti (2006) observaram que as propriedades mecânicas de tração de compósitos poliéster/tecido híbridos sisal/vidro apresentaram propriedades mecânicas superiores com a inserção das fibras.

Com base nos estudos de Costa (2016) sobre a influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras naturais, foi observado um aumento nas propriedades mecânicas de tração, flexão e impacto em relação a matriz plena na ordem de 15 % a 95 % para compósitos com fibras, 10 % para compósitos com carga de resíduos industriais com inserção de fibras.

2.2 Polímeros

Os polímeros são moléculas orgânicas, compostas por um grande número de unidades moleculares repetidas, sendo elas simples, iguais ou de tipos diferentes, ligadas entre si por ligações covalentes. Em razão do tipo de ligação utilizada, ocorre uma estabilização físico química, formando longas cadeias e assim, resultando em compostos químicos de alta massa molecular (SILVA, B.; SILVA, O., 2003).

De acordo com Martins Neto (2010), “Os materiais polímeros apresentam usualmente baixa densidade, pequena resistência à temperatura, baixa condutividade elétrica e térmica, etc. Polímeros são sintetizados por reações de polimerização a partir de dois monômeros”.

Com base nas estruturas dos polímeros, os compostos poliméricos podem ser classificados como termoplásticos ou termorrígidos, cuja a principal diferença está ligada ao comportamento do material quando aquecido. Os materiais termoplásticos possuem a vantagem quanto sua característica de mudar de estado físicos diversas vezes, isso ocorre em razão do enfraquecimento das suas forças intermoleculares, tornando-se fluidos diante a ação da temperatura e sólidos quando ocorre o decréscimo na temperatura (MARTINS NETO, 2016).

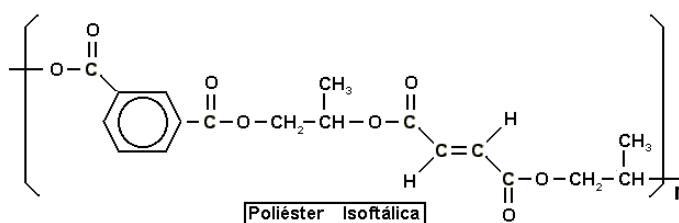
No entanto, os polímeros termorrígidos possuem a característica de alta resistência térmica, ou seja, são materiais que mesmo diante ao aquecimento, não alteram seu estado físico facilmente. Dessa forma, esses tipos de materiais apresentam vantagens em relação aos termoplásticos, tais como alta dureza, boas propriedades de estabilidade térmica e elevada rigidez. Uma forma significativa de processamento dos polímeros termorrígidos está no uso de cargas minerais como material reforçante, como exemplo a inserção das fibras (MARTINS NETO, 2016).

2.2.1 Resina de poliéster insaturado isoftálica

As resinas de poliéster insaturado compõem o grupo dos polímeros, possuindo elevada massa molecular. Este tipo de resina é uma das mais utilizados no meio industrial em razão das suas características benéficas, tais como baixo preço, facilidade de manuseamento devido ao seu estado líquido, cura fácil e apresenta boas propriedades térmicas e mecânicas. Além de possuir inúmeras aplicações na indústria aeronáutica, química, construção civil, naval e no ramo automobilístico (SILVA, 2008).

Conforme Rodrigues (2016), as matérias primas utilizadas para a aquisição da resina de poliéster insaturado são: glicóis e ácidos orgânicos dicarboxílicos, onde ao sofrerem algum tipo de reação dão origem a moléculas de cadeias longas lineares. A reação de síntese da resina poliéster é uma reação de polimerização por condensação em etapas, ou seja, a reação de um álcool com base orgânica com um ácido, resultando em uma reação de esterificação (LEVY NETO; PARDINI, 2006). A Figura 4 representa a estrutura química da resina de poliéster isoftálica.

Figura 4 - Estrutura química da resina de poliéster isoftálica



Fonte: Silaex (2018)

As resinas de poliéster são classificadas como saturadas ou insaturadas, com base nos tipos de ácidos utilizados. O poliéster insaturado é produzido quando em alguns dos seus reagentes contem insaturações, um exemplo é o ácido anidro maleico, na qual possui um ponto de fusão baixo e uma reação rápida. Para os ácidos saturados, os que mais se destacam são o ácido ortoftálico e o isoftálico (RODRIGUES, 2016).

Segundo Grison (1987), as resinas de poliéster insaturado são dispostas em quatro tipos: ortoftálicas, isoftálicas, bisfenólica e éster-vinílica. A resina poliéster isoftálica não forma anidrido cíclico, portanto, não sofre a desvantagem de regeneração, o que acarreta na obtenção de poliésteres de elevado peso molecular, resultando na formação de cadeias mais longas

(SILAEX, 2018). O Quadro 2 apresenta os tipos de resinas poliésteres com suas respectivas características e aplicações.

Quadro 2 - Tipos de resinas e suas características e aplicações

Tipos de resinas	Características	Aplicações
Ortoftálica	Resinas comuns e de baixo custo	Reforço de fibra
Tereftálica	Resistências físicas superiores a ortoftálica e baixa resistência a UV	Artesanato, laminação em reforço de fibra
Isoftálica	Características mecânicas, químicas e térmicas melhores que as anteriores	Laminados exposto a intempéries
Isoftálica c/ CNP	O NPJ melhora a resistência a hidrólise	Peças e laminados

Fonte: Silaex (2018)

As resinas de poliéster são providas em estado líquido viscoso, na qual, por meio de uma reação exotérmica de polimerização ou cura se transforma em um sólido termorrígido. Todavia, o processo de cura das resinas poliéster ocorre de forma lenta, sendo necessário o auxílio de catalizadores e aceleradores de reação (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

2.3 Rochas ornamentais

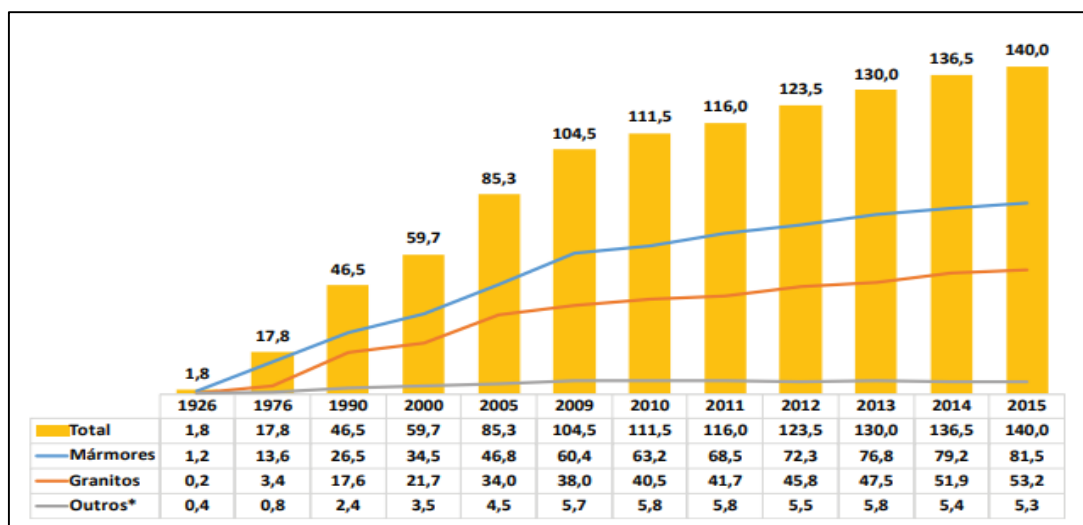
De acordo com Chiodi Filho e Rodrigues (2009), o conceito de rochas ornamentais pode ser entendido como um material de caráter geológico, extraído em formas de blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadreamento, polimento e lustro. Devido sua alta comercialização no cenário industrial, seu uso é empregado nos variados campos de aplicação, tais como peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lapides e arte funerária, quanto edificações, destacam-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, entre outros.

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais são divididas em dois grupos, mármore e granitos. Sendo mármore considerado um conjunto de rochas carbonáticas, enquanto granito engloba um conjunto de rochas silicáticas que apresentam condições de desdobramento e de beneficiamento para fins ornamentais e de revestimento. Além desses dois tipos de rochas, há também outras, tais como ardósias, quartzitos, arenitos, basaltos, entre

outras, no entanto, apesar de também serem classificadas como pedras ornamentais, possuem menor abrangência comercial (BEZERRA, 2017).

Segundo Bezerra (2017), o setor de atividade extrativista de rochas ornamentais vem aumentando gradativamente, desde o período de 1990, em média 4,5 % a.a. Com base nos dados mais recentes entre os períodos de 2009 a 2015, a produção mundial de rochas ornamentais obteve um aumento significativo, em média 5,0 % a.a. Como apresenta a Figura 5.

Figura 5 – Gráfico da evolução da produção mundial de rochas ornamentais (milhões de toneladas/ano)



Fonte: Montani (2016)

Levando em consideração a produção mundial dos tipos de rochas ornamentais em 2015, estimada em 140 milhões de toneladas, os mármore destacam-se com uma produção de 58,3 %, o que equivale a 81,5 milhões toneladas, enquanto os granitos representam 37,9 %, equivalente a 53,2 milhões de toneladas. Os demais materiais participam com 3,8 %, o que consiste em 5,3 milhões toneladas (BEZERRA, 2017).

2.3.1 Resíduo de mármore e granito

Uma das grandes problemáticas discutidas no cenário ambiental atual é a destinação dos resíduos provenientes das fabricações das rochas ornamentais. Durante o processo o resíduo chega a atingir 30 % a 40 % de lama de marmoraria, obtida a partir dos procedimentos de recorte, polimento e lustro das peças. Ou seja, a produção desses resíduos acarreta em perdas para as empresas produtoras e negativas ambientais (FIEMG, 2015). A Figura 6 apresenta resíduos produzidos dos processos de corte e polimento das rochas ornamentais.

Figura 6. Bacia de decantação dos resíduos gerados do corte de blocos de granito



Fonte: Oliveira; Ribeiro e Moreira (2016)

De acordo com Moreira, Freire e Holanda (2003) o descarte dos resíduos na maioria das vezes ocorre a céu aberto ou em rios, sem passarem por nenhum tipo de tratamento, consequentemente, ocasionando problemas de assoreamento, o que acarreta a contaminação de rios ou até mesmo reservatórios naturais de água.

O Brasil possui uma das maiores reservas de rochas ornamentais de revestimento (mármore e granito) no qual possui variados aspectos estéticos. Dentre os estados produtores estão ES, PB, BA, MG, CE, MS, SP e RJ, com destaque o estado do Espírito Santo, sendo responsável por cerca de 80 % da produção nacional das rochas ornamentais (MOREIRA; FREIRE; HOLANDA, 2003).

A região Nordeste é a área onde se concentra elevada quantidade de indústrias de beneficiamento, sendo responsável pela liberação de grandes toneladas de resíduos ao meio ambiente. Fator este que gera preocupação aos ambientalistas, uma vez que os indicadores de produções do resíduo mostram tendência de crescimento (MENEZES; FERREIRA; NEVES, 2002).

Apesar dessas negativas geradas pelos resíduos, há pesquisas sobre uso destes resíduos em aplicações industriais. Como, por exemplo, o resíduo de mármore é usado como reforço material ou matéria prima em várias aplicações, tais como cerâmica, tijolos e materiais de construção. Além, de serem usados na fabricação de materiais argilosos, telhas e cimento branco (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).

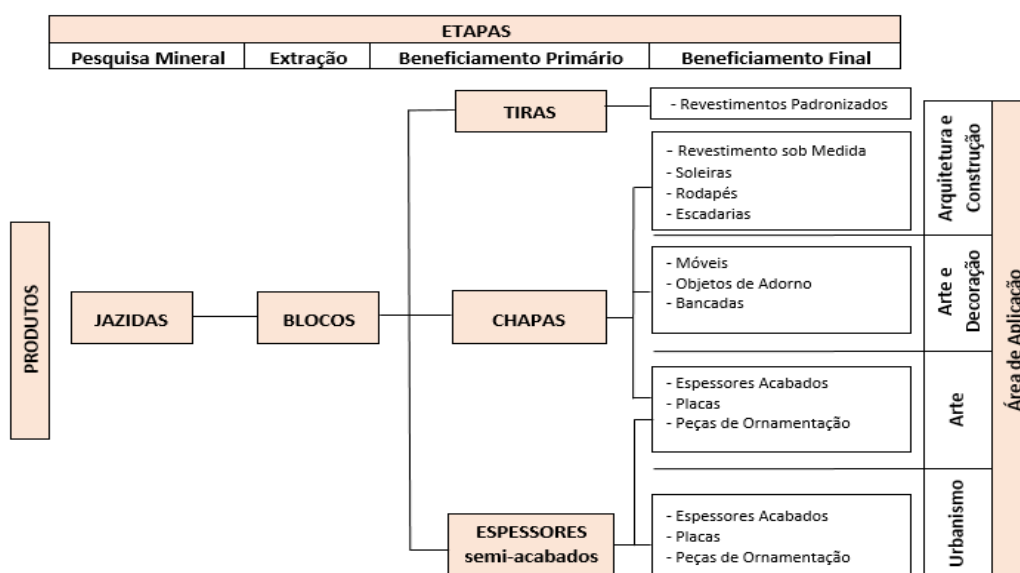
Com base nessas considerações, o aproveitamento dos resíduos é uma das soluções estudadas por empresas na área de rochas ornamentais. Segundo Chiodi Filho e Rodrigues (2009), a utilização dos resíduos, oriundos do beneficiamento das rochas ornamentais traz benefícios

tanto para o meio ambiente, quanto para a empresa produtora do resíduo, uma vez que o material passa a ser reutilizado e comercializado, reduz as perdas sofridas durante o processo de beneficiamento, acarretando no aumento da lucratividade e fornecendo uma alternativa para o setor industrial.

2.3.1.1 Funcionamento do beneficiamento do mármore e granito

O processo de beneficiamento das rochas ornamentais começa a partir do desdobramento dos materiais extraídos das pedreiras em forma de blocos, sendo dividido em beneficiamento primário e secundário ou conhecido como final. No processo do beneficiamento primário, os blocos brutos passam pelas serrarias, para obtenção de chapas com espessuras variadas, este procedimento ocorre com o uso de um equipamento, denominado teare. Já no beneficiamento secundário, também conhecido como final, o processo ocorre nas marmorarias, etapa responsável pelos cortes e acabamentos das peças para obtenção do produto final (MORAES, 2006). De acordo com a Figura 7, pode-se observar as etapas do processo de beneficiamento das rochas ornamentais.

Figura 7 - Fluxograma das etapas do beneficiamento das rochas ornamentais

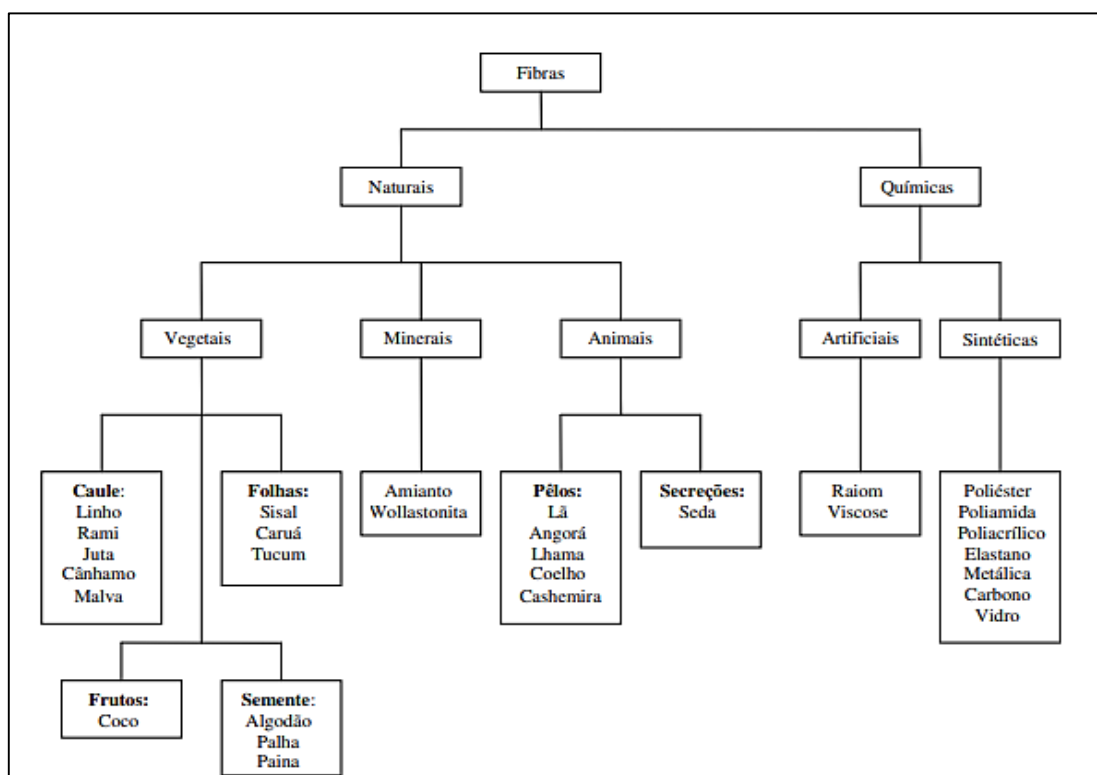


Fonte: Margueron e Mello (2005)

2.4 Origem das fibras vegetais

De acordo com Medina (1959, p.787-792) “as fibras naturais, também chamadas de fibras lignocelulósicas ou vegetais, morfologicamente são células esclerenquimatosas de forma tipicamente prosenquimatosa, ou seja, de comprimento igual a muitas vezes a largura”. Sendo assim, em razão de suas características, as fibras possuem classificações a partir de materiais naturais ou químicos. A Figura 8 apresenta o fluxograma da classificação das fibras.

Figura 8 - Fluxograma da classificação das fibras



Fonte: Milanese (2008)

Com base na comparação com as fibras sintéticas, as fibras vegetais possuem variedades de benefícios sociais, econômicos e ecológicos. No setor ecológico as fibras se destacam por serem biodegradáveis, renováveis e carbono “free”, ou seja, quando são carbonizadas ou incineradas liberam a mesma quantidade de dióxido de carbono consumida durante seu desenvolvimento. No setor social, ocorre o aumento da demanda de geração de empregos, e na área econômica o custo benefício se expande, devido ao baixo preço em razão da pouca eletricidade utilizada na produção das fibras (JACOB; THOMAS, 2002).

As fibras são componentes estruturais de plantas que possuem diversas aplicações industriais e comerciais, sendo utilizadas desde a antiguidade para auxiliar em atividades cotidianas fundamentais à economia, vestuário, indústria automobilística e entre outros usos. Devido suas vantagens ecológicas e suas propriedades físicas e mecânicas, o desenvolvimento por práticas sustentáveis tendem a valorizar e ampliar as possibilidades de uso das fibras vegetais nas áreas industriais, intensificando investimentos em matérias primas biodegradáveis para seus produtos (HENDGES, 2010).

Devido à alta produção das fibras no mercado mundial e aos benefícios gerados, a sua importância se ampliou significativamente, levando a Assembleia Geral das Nações Unidas em 20 de dezembro de 2006, proclamar 2009 como o “Ano Internacional das Fibras Naturais”, conforme a resolução 61/189 (PIRES, 2009). De acordo com o reconhecimento da relevância das fibras vegetais, o assunto começou a ser mais debatido tanto no cenário econômico quanto no educacional, gerando a ocorrência demasiada de eventos sobre a temática. Como exemplo, a realização do I Congresso Internacional de Fibras Naturais, sediado no Brasil, em Salvador – BA no ano de 2009.

De acordo com o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (2019), o Brasil é um dos países que mais se destaca em questão de produção de fibras naturais, sendo considerado na atualidade o maior produtor de fibras de sisal (*Agave sisalana*), representando 60 % da produção mundial, seguido de China (11 %), Tanzânia (10 %), Quênia (8 %), Madagascar (4,5 %), Venezuela (3,5 %) e México (5 %).

2.4.1 Fibra de sisal

Levando em consideração a abrangência das fibras naturais existentes no setor industrial, a fibra de sisal se destaca, em razão de suas propriedades e disponibilidade no mercado. O sisal é uma fibra vegetal de natureza celulósica, constituinte da planta *Agave sisalana*, provinda do México. Segundo Milanese (2008) “A planta apresenta folhas estreitas e compridas com ápice pontiagudo, medindo de 10 cm a 15 cm de largura e 120 a 160 cm de comprimento, de cor verde lustrosa que crescem em torno de um bulbo central”. A Figura 9 apresenta uma fotografia da planta *Agave sisalana*.

Figura 9 - Fotografia da planta *Agave sisalana*



Fonte: Embrapa (2016)

Em razão à sua adaptação a climas secos com elevadas temperaturas, a planta foi introduzida no Brasil por volta de 1900, no Nordeste, região conhecida por apresentar problemáticas a respeito das secas e chuvas escassas. Dessa forma o Nordeste se favoreceu, constituindo os principais estados produtores da fibra de sisal, que são Bahia com 93 % da produção nacional, seguido do estado de Paraíba com 4 % e Rio Grande do Norte apresentando 3 % de produção (MILANESE, 2008).

Portanto, por meio dessa adaptabilidade e por ser um fator essencial para a economia da região, o Brasil tornou-se o maior produtor em escala mundial, com produção média anual de 80 mil toneladas. Na qual, 85 % da produção brasileira se destina a exportação de mercado, com destino aos Estados Unidos (69,7 %) e China (11,2 %) (SINDIFIBRAS, 2019).

Com base na sua produção em alta escala, a fibra de sisal após o processo de beneficiamento possui variadas aplicações na indústria, sendo na produção de fios e cordoarias, onde se destaca o fio agrícola (*baler twine*), responsável por 60 % do destino da fibra de sisal produzida na Bahia. Há também os produtos de tapetes e capachos, encontrados com formas variadas, um exemplo são os tapetes constituídos de couro (ANDRADE; ORNELAS; BRANDÃO, 2012). A Figura 10 apresenta algumas das utilizações da fibra de sisal.

Figura 10 - Ilustração das utilizações da fibra de sisal



(a)

(b)

Fonte: (a) Luz (2016), (b) Vitório (2015)

Além das aplicações já existentes da fibra, há estudos que buscam pela viabilidade do uso das fibras de sisal e de seus subprodutos como uma alternativa para o mercado. De acordo com Andrade, Ornelas e Brandão (2012, p. 14) “no desfibramento, apenas 4 % da folha do sisal é aproveitada na forma de fibra, 16 % são resíduos sólidos e 80 % são resíduos líquidos”.

Como consequência disso, a necessidade da obtenção de materiais de fontes limpas e abundantes, tornou a fibra de sisal uma opção para ser usada na produção de compósitos. Um exemplo, foi um acontecimento em 2008, onde uma empresa automobilística apresentou um veículo contendo componentes constituídos de fibra de sisal (ANDRADE; ORNELAS; BRANDÃO, 2012).

Outra aplicação viável do sisal, em questão dos seus subprodutos é o uso do líquido ou suco gerado como bioinseticida e bio-herbicida. Na qual, estudos realizados comprovam a eficiência do uso do resíduo líquido. Além disso, um outro meio de reaproveitamento do resíduo de sisal está na produção de carne e leite a partir do resíduo na forma de feno, silagem ou amonizado como ração (ANDRADE; ORNELAS; BRANDÃO, 2012).

O beneficiamento da fibra de sisal consiste em várias etapas, sendo as principais o corte, o desfibramento, a lavagem e secagem da fibra. No processo do corte é retirado em média 50 a 60 folhas da planta *Agave Sisalana*, por meio manual, com auxílio de uma pequena foice ou faca apta para o corte, rente ao tronco. Após finalizada essa etapa, é realizado o transporte das folhas cortadas para o local de desfibramento (SILVA *et al.*, 2008).

Segundo Silva e Beltrão (1999), na etapa de desfibramento é realizado a eliminação da polpa das fibras, mediante uma raspagem mecânica. Para o funcionamento desse processo é utilizado uma máquina, denominada motor de agave ou máquina paraibana. Com o término desse processo, a fibra é transportada para sua etapa final, que consiste na imersão da fibra

durante 8 a 12 horas em tanques com água limpa para a eliminação de resíduos existentes e após esse período de lavagem a fibra é exposta ao sol durante o período de 8 as 10 horas, por meio de varais em um local livre de impurezas. A Figura 11 apresenta as etapas do beneficiamento da fibra de sisal, sendo a) processo do corte, b) máquina de desfibramento, c) lavagem da fibra e d) secagem da fibra.

Figura 11 - Fotografia das etapas do beneficiamento da fibra de sisal.

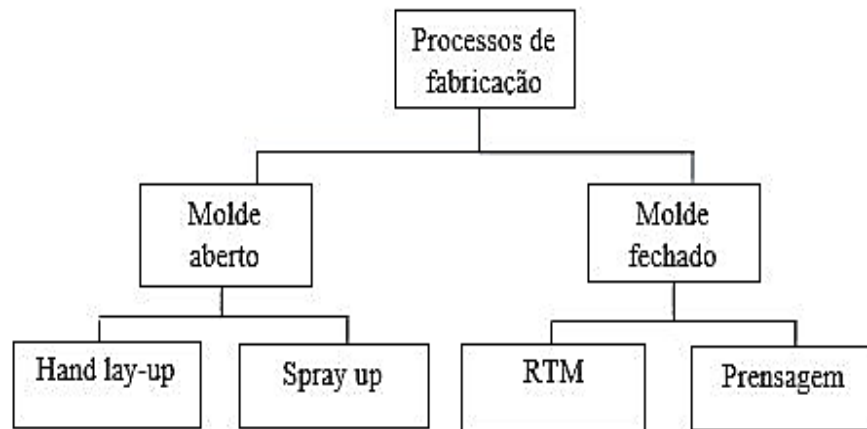


Fonte: Silva *et al.* (2008)

2.5 Funcionamento do processo de fabricação de compósitos

Os processos de fabricação dos materiais compósitos podem ser classificados em processos de molde aberto e fechado. Os fatores que diferem esses tipos de processos são a qualidade do acabamento do material e o molde que constitua a necessidade para a conformação da peça. A Figura 12 representa um fluxograma dos tipos de processos de fabricação dos compósitos (RODRIGUES, 2016).

Figura 12 - Fluxograma dos tipos de processos de fabricação



Fonte: Autoria própria (2019)

Os processos que utilizam o molde aberto constituem peças com acabamento mais lisos e uniformes em apenas um dos lados da peça, enquanto no molde fechado todas as faces da peça obtêm um acabamento liso contínuo. Com base nos métodos utilizados para a fabricação de um determinado material há variações quanto a habilidade, produtividade, custo, entre outros. A Tabela 3 mostra a comparação dos processos mediante a fabricação de compósitos (RODRIGUES, 2016).

Tabela 3 - Comparação entre os processos de fabricação dos compósitos

Processo	Habilidade necessária	Produtividade	V_f	Custo	Arranjo reforço
<i>Hand lay – up</i>	Baixa	Baixa	Média	Baixo	2 D
Autoclave	Alta	Média	Alta	Médio a alto	2 D
RTM/VARTM	Média	Alta	Média a alta	Baixo	2 D, 3 D

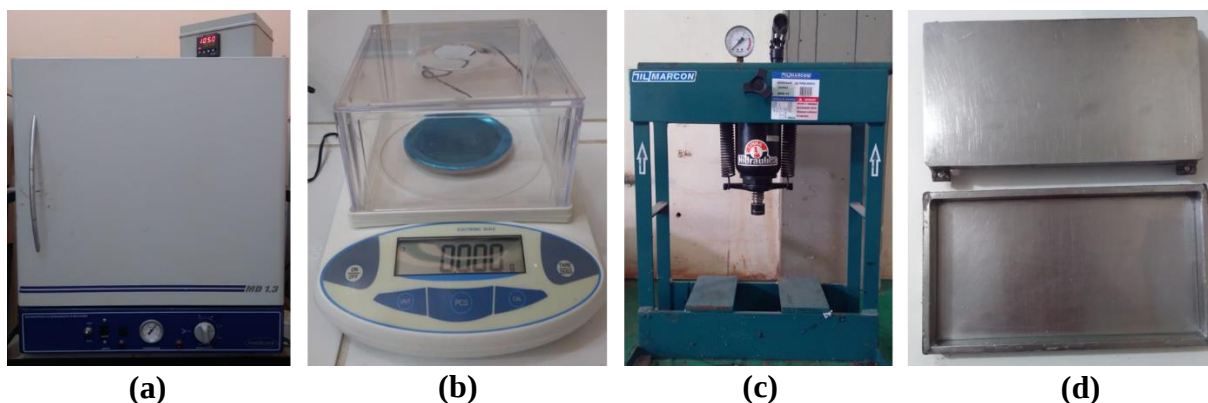
Fonte: Naik; Sirisha e Inani (2013)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Equipamentos utilizados

- **ESTUFA**, MEDICATE, modelo MD 1.3 - Esterilização e secagem, T 50°C a 250 °C;
- **BALANÇA ANALÍTICA**, Modelo ELECTRONIC SCALE;
- **PRENSA HIDRÁULICA**, MARCON, modelo MPH -15, com capacidade de 15 Ton;
- **MOLDE METÁLICO**, Dimensões (320 mm x 172,5 mm x 5 mm);
- **MÁQUINA DE CORTE**, DeWALT, modelo DW860B;
- **MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAIOS**, KRATOS, modelo IKCL3;
- **MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA**, HITACHI, modelo TM 3000.

Figura 13 – Equipamentos: (a) estufa, (b) balança analítica, (c) prensa hidráulica e (d) molde metálico



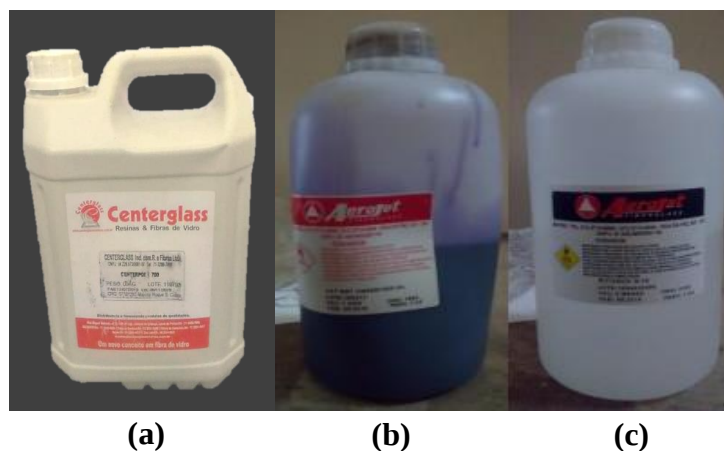
Fonte: Autoria própria (2019)

3.2 Materiais utilizados

3.2.1 Materiais sintéticos

A matriz polimérica utilizada foi a resina poliéster insaturada isoftálica, proveniente da empresa Centerglass Ind, Com. R. e Fibras Ltda. A densidade da resina foi de 1,15 g/cm³, segundo dados fornecidos pela fabricante. O sistema catalítico utilizado, em volume, foi constituído pelo acelerador de cobalto, denominado CAT MET UMEDECIDO, solução de octoato 1,5 % e o iniciador peróxido de metil cetona (MEK-P) 1,0 % (Butanox M-50) produzidos pela empresa AEROJET Brasileira de Firbeglass Ltda. A Figura 14 mostra os materiais sintéticos.

Figura 14 - Materiais: (a) Resina poliéster isoftálica, (b) Acelerador de cobalto e (c) Iniciador MEK-P

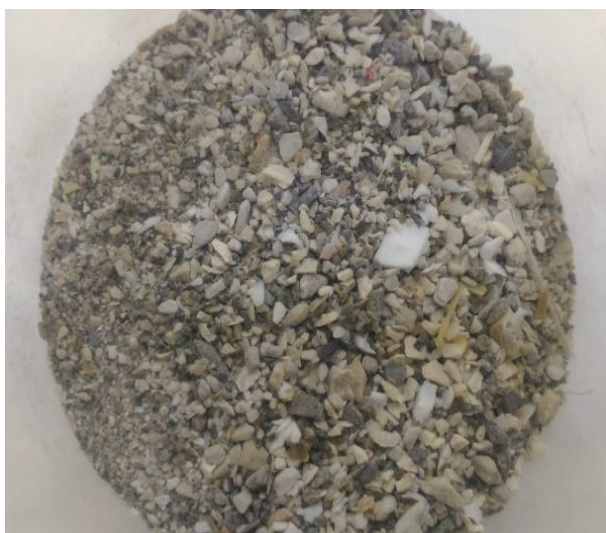


Fonte: Autoria própria (2019)

3.2.2 Resíduo de mármore e granito - RMG

O resíduo de mármore e granito foi fornecido pela empresa Brilasa Britagem e Laminação de Rochas S/A, localizado no Estado do Pará. A densidade adotada para o resíduo foi entre 2,6 - 2,8 g/cm³, segundo o trabalho de Spala *et al* (2017). A Figura 15 mostra o resíduo fornecido.

Figura 15 - Resíduo de mármore e granito



Fonte: Autoria própria (2019)

3.2.3 Fibra de sisal

As fibras de sisal utilizadas foram fornecidas pela empresa SISALSUL, localizada no Estado de São Paulo. A densidade adotada para a fibra de sisal foi de 1,42 g/cm³, conforme o trabalho de Costa (2016). A Figura 16 apresenta as fibras de sisal.

Figura 16 - Fibra de sisal fornecida pela empresa SISALSUL



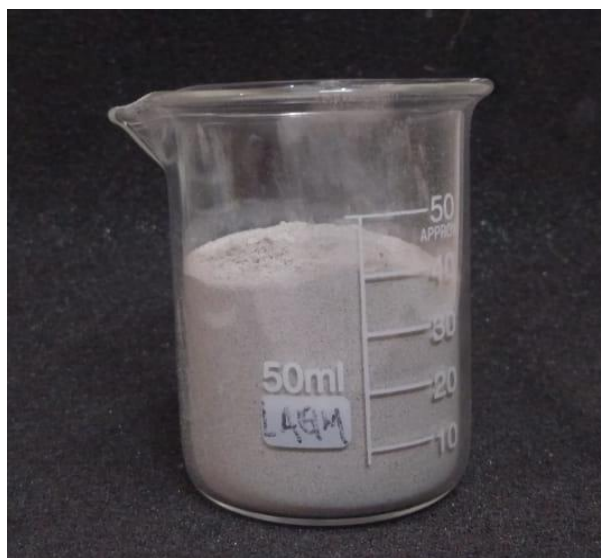
Fonte: Autoria própria (2019)

3.3 Métodos

3.3.1 Desagregação do resíduo de mármore e granito

Para o beneficiamento desse resíduo, o material passou pelo processo de secagem em estufa por aproximadamente 24 horas a uma temperatura de 105 °C. Após esse período, foi realizado o processo de cominuição e peneiramento manual do resíduo em peneira com granulometria de 100 e 200 Meshs da série Tyler. A Figura 17 mostra o resíduo obtido após passar pelo processo de peneiramento manual.

Figura 17 - Resíduo obtido após o beneficiamento



Fonte: Autoria própria (2019)

3.3.2 Corte das fibras de sisal

As fibras de sisal já extraídas, foram fornecidas pela empresa SISALSUL. As fibras foram utilizadas na forma como adquiridas, não passaram por nenhum tratamento químico. Dessa forma, foram cortadas com auxílio de uma escala milimétrica em comprimento de 15 mm. O processo do corte consistiu na organização dos feixes de fibras sobre uma tira de papel com as dimensões desejadas. A Figura 18 mostra o processo de corte das fibras.

Figura 18 - Processo de corte das fibras de sisal



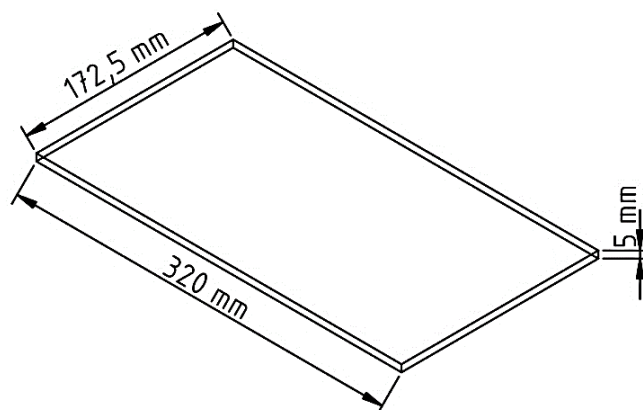
Fonte: Autoria própria (2019)

3.3.3 Produção dos compósitos

Para a produção dos compósitos foram confeccionadas placas retangulares, com dimensões 320 mm x 172,5 mm x 5 mm, compostas com fibras de sisal, no comprimento de 15 mm e Resíduo de Mármore e Granito (RMG) na granulometria de 100 e 200 Meshs. O método

de processo de fabricação utilizado foi a laminação manual (*hand lay-up*), onde foram produzidas placas no molde e em seguida prensadas em uma prensa hidráulica com carga de 2,5 toneladas durante o período de 20 minutos. A Figura 19 apresenta o esquema das placas retangulares confeccionadas.

Figura 19 – Esquema das placas retangulares confeccionadas



Fonte: Autoria própria (2019)

3.3.3.1 Etapas de produção dos compósitos

De acordo com os valores tabelados, foi utilizado uma balança analítica para a determinação de massas e volumes de todo o material necessário para a confecção de cada placa de compósito de acordo com a sua proporção. As Tabelas 4 e 5 mostram os valores utilizados para a confecção dos compósitos de matriz polimérica plena e os compósitos poliméricos com resíduo de mármore e granito com fibras de sisal de acordo com a sua composição.

Tabela 4 - Valores para a confecção de placa de matriz plena

Composição %	Resina (g)	Resíduo (g)	Fibra (g)	Co (1,5%) (ml)	MEK-P (1%) (ml)
0 % RMG / 0 % FS	203,14	0	0	2,64	1,76

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 5 - Valores para a confecção de placas fibra/resíduo

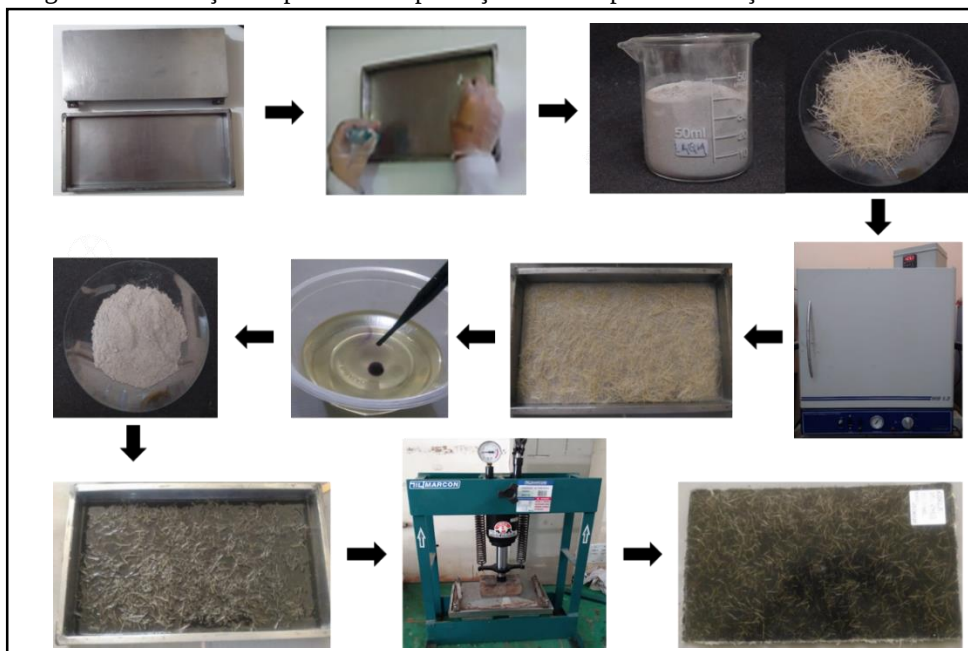
Composição %	Resina (g)	Resíduo (g)	Fibra (g)	Co (1,5%) (ml)	MEK-P (1%) (ml)
5 % RMG / 3 % FS	186,89	22,96	7,52	2,43	1,62
10 % RMG / 3 % FS	176,73	45,92	7,52	2,30	1,53
15 % RMG / 3 % FS	166,57	68,89	7,52	2,17	1,44
20 % RMG / 3 % FS	156,41	91,85	7,52	2,04	1,36

Fonte: Autoria própria (2019)

Para a produção dos compósitos foi utilizado o método *land lay up*, associado a prensagem em um molde fechado. Com base no volume da resina, foi determinada a utilização de 1,5 % de acelerador de cobalto e 1,0 % de MEK-P em todos os experimentos, sendo variado a resina e o resíduo de mármore e granito. Para o processo de fabricação dos compósitos híbridos foi usado uma proporção fixa de 3 % de fibra de sisal, contendo comprimento de 15 mm para todas as séries produzidas, variando as proporções de 5 %, 10 %, 15 % e 20 % do resíduo com granulometria de 100 Mesh e 200 Mesh, adotando a proporção de 0 % como método comparativo. Farias (2019) e Silva (2019) estudaram a utilização de fibras vegetais de bambu em compósitos poliméricos e verificaram que a fração de 3 % de fibras obteve propriedades mecânicas satisfatórias, sugerindo a utilização desta.

Antes da produção das placas poliméricas, tanto a fibra quanto o RMG foram pesados e levados para a estufa a uma temperatura de 105 °C por um período de 30 minutos, com o objetivo de se retirar a umidade do material. Após esse período, as fibras foram dispostas de forma aleatória dentro do molde. Em seguida foi efetuado o preparo da mistura, constituída da inserção do acelerador de cobalto junto a resina, sendo adicionado o resíduo e o iniciador MEK-P, onde foram homogeneizados durante 5 minutos e despejados sob o molde previamente umedecido com o material desmoldante. Após a mistura atingir o ponto de gel (10 a 15 minutos), o material foi prensado com carga de 2,5 toneladas durante 20 minutos. A Figura 20 ilustra o processo de produção dos compósitos.

Figura 20. Ilustração do processo de produção dos compósitos reforçados com fibra de sisal



Fonte: Autoria própria (2019)

Após a confecção de todas as placas, foi realizado o processo de corte na Usina de Materiais do Laboratório de Engenharia Química (LEQ), situado na Universidade Federal do Pará (UFPA), para a obtenção de corpos de prova, com objetivo de realizar os ensaios físicos: massa específica aparente (ASTM D 792), absorção de água (ASTM D 570) e porosidade aparente (ASTM D 2734). Além dos ensaios de flamabilidade (ASTM D 635), como também os corpos de prova do ensaio mecânico de resistência a tração (ASTM D 3039). A Figura 21 mostra a máquina de corte utilizada para a obtenção dos corpos de prova cortados.

Figura 21 – Máquina de corte



Fonte: Autoria própria (2019)

3.3.5 Difração de Raios – X

O ensaio de difração de Raios – X do resíduo de mármore e granito foi realizado no Laboratório de Caracterização Estrutural (LCE) da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA/Marabá). As análises mineralógicas foram feitas em Difratorômetro de Raios – X, que permite identificar as fases cristalina do material. Para a análise do material foi realizado a redução das amostras mediante ao quarteamento, seguida da homogeneização e diminuição dos grãos a serem analisados. A Figura 22 ilustra o equipamento de difração de Raios – X.

Figura 22 – Equipamento de DRX



Fonte: Bruker (2019)

3.3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para avaliar a influência da morfologia dos resíduos, fibras e suas frações mássicas nas propriedades dos compósitos fabricados, foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura, marca HITACHI, modelo TM 3000, Brasil do Laboratório de microscopia do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA), da Universidade Federal do Pará. A Figura 23 mostra o microscópio eletrônico de varredura utilizado na análise.

Figura 23 - Microscópio eletrônico de varredura



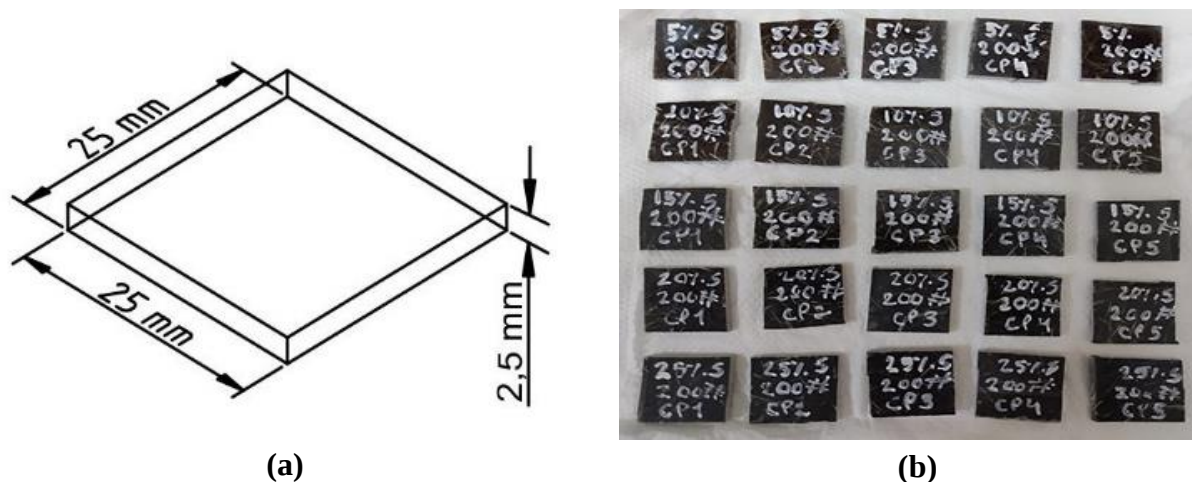
Fonte: Farias (2019)

3.3.7 Ensaios realizados

3.3.7.1 Ensaios físicos

As propriedades físicas realizadas foram de Massa Específica Aparente (MEA) (ASTM D 792), Absorção de Água (AA) (ASTM D 570) e Porosidade Aparente (PA) (ASTM D 2734) nos compósitos fabricados. Os processos das análises foram executados na Usina de materiais do Laboratório de Engenharia Química (LEQ), da Universidade Federal do Pará. Para a realização dos ensaios físicos foram preparados 5 corpos de prova, nas dimensões de 25 mm x 25 mm, de acordo com as frações mássicas de resíduo estabelecidas. Após a obtenção dos corpos de prova, o material foi colocado seco na estufa durante 24 h a uma temperatura de 105 °C, após esse período cada corpo foi pesado em balança de precisão para determinação da massa seca - m_s . Em seguida, foi realizada a imersão desses corpos de prova em água destilada por 24 h para se determinar a massa úmida - m_u e logo depois foi pesado hidrostáticamente para obtenção da massa imersa - m_i . A Figura 24 mostra a (a) etapa de confecção e (b) os corpos de prova utilizados nos ensaios físicos.

Figura 24 – (a) Etapa de confecção e (b) corpos de prova utilizados nos ensaios



Fonte: Autoria própria (2019)

Para os cálculos das propriedades citadas, fez-se o uso das equações (3.1), (3.2) e (3.3).

$$MEA = \frac{m_s}{(m_u - m_i)} \quad (3.1)$$

$$AA = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} * 100(\%) \quad (3.2)$$

$$PA = \frac{(m_u - m_s)}{(m_u - m_i)} * 100(\%) \quad (3.3)$$

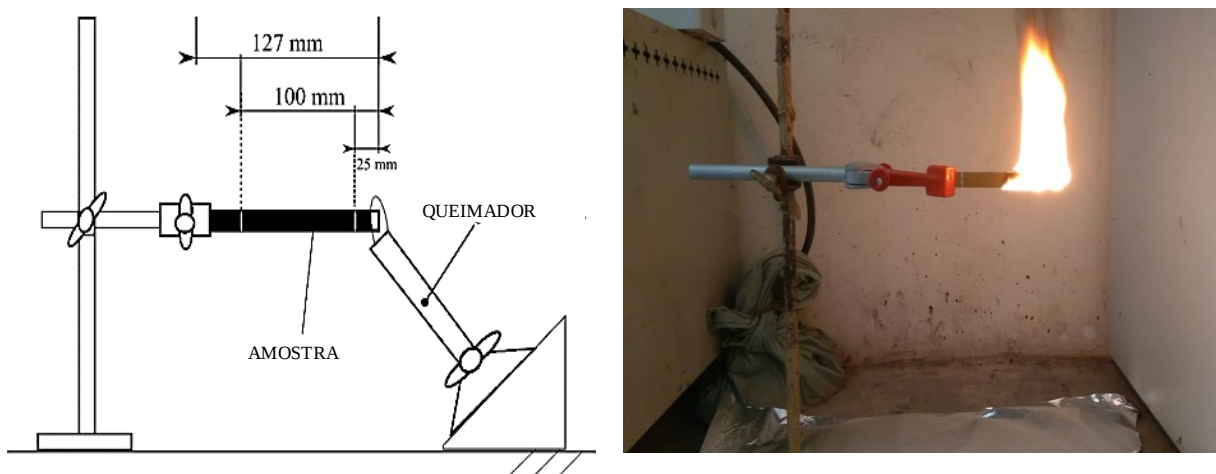
Sendo: m_s = massa seca; m_u = massa úmida; m_i = massa imersa.

3.3.7.2 Ensaio de flamabilidade

O teste foi realizado por meio da flamabilidade horizontal, na usina de materiais do laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, por meio de um aparato de estrutura metálica. Foram utilizados corpos de prova de acordo com as frações mássicas de 5 %, 10 %, 15 % e 20 % de resíduo e uma fração de 3 % de fibra de sisal, com dimensões de 127 mm x 12,7 mm, segundo a norma ASTM D 635. Para o procedimento do ensaio, os corpos de prova foram marcados a 25 mm e 100 mm de uma extremidade, deixando uma área útil de

75 mm, onde, foi observado a durabilidade do tempo da chama após atingir a primeira marcação até chegar a segunda marcação. A Figura 25 mostra a (a) representação esquemática do ensaio realizado e (b) a queima do corpo de prova durante o ensaio de flamabilidade.

Figura 25 - (a) Representação esquemática do ensaio realizado e (b) Queima do corpo de prova durante o ensaio

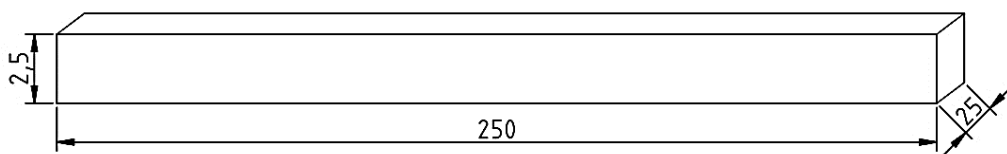


Fonte: (a) Mendes (2019) e (b) Autoria própria (2019)

3.3.7.3 Ensaio de resistência a tração

Para os ensaios de tração os procedimentos realizados foram de acordo com a norma ASTM D 3039, foram fabricados 9 corpos de prova de acordo com as respectivas frações mássicas de 5 %, 10 %, 15 % e 20 % de resíduo e uma fração de 3 % de fibra de sisal com as dimensões conforme mostrado na Figura 26.

Figura 26 - Dimensões em mm dos corpos de prova para ensaio de tração

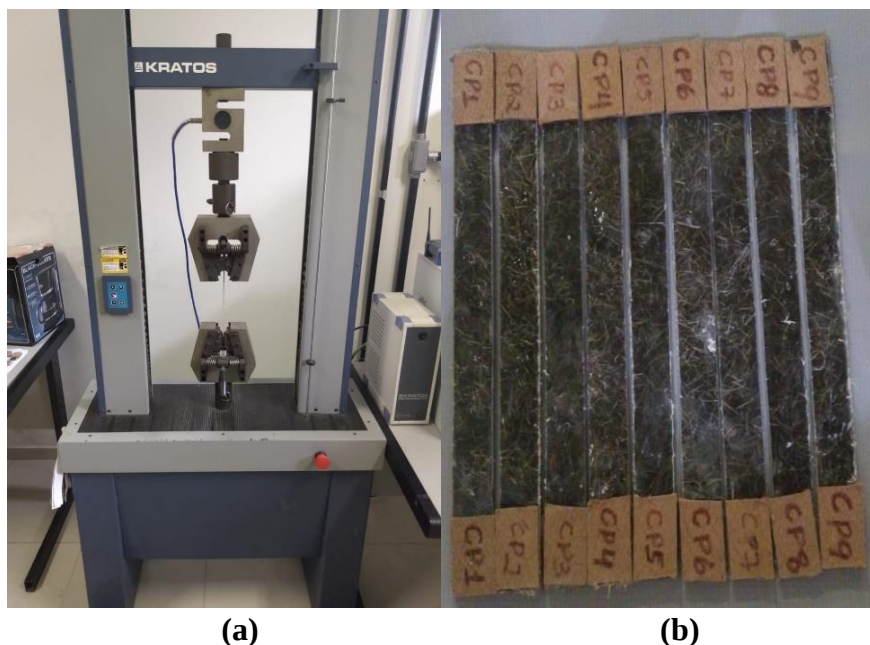


Fonte: ASTM D 3039 (2008)

O ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Mecânica - LABEM da Universidade Federal do Pará. Para a execução do ensaio foi utilizada uma máquina universal de ensaios, marca KRATOS, modelo IKLC3, com célula de carga de 5 kN e velocidade de ensaio de 2 mm/min. Essa máquina consiste na aplicação de esforços até obtenção da

deformação do material. A Figura 27 mostra a máquina utilizada no ensaio e os corpos de provas utilizados.

Figura 27 - (a) Máquina Universal de ensaios, (b) Corpos de prova

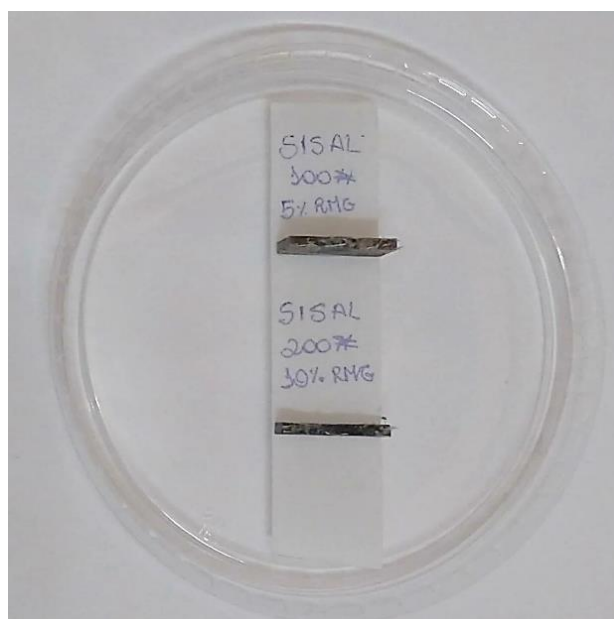


Fonte: Autoria própria (2019)

3.3.8 Fractografia

As análises das superfícies de fratura foram feitas utilizando o microscópio eletrônico de varredura, marca HITACHI, modelo TM 3000, do Laboratório de Microscopia do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA), da Universidade Federal do Pará. Essa técnica consiste na identificação de fenômenos de fratura de materiais após falha. A Figura 28 mostra as amostras preparadas para a análise das suas superfícies de fratura.

Figura 28 - Amostras para análise



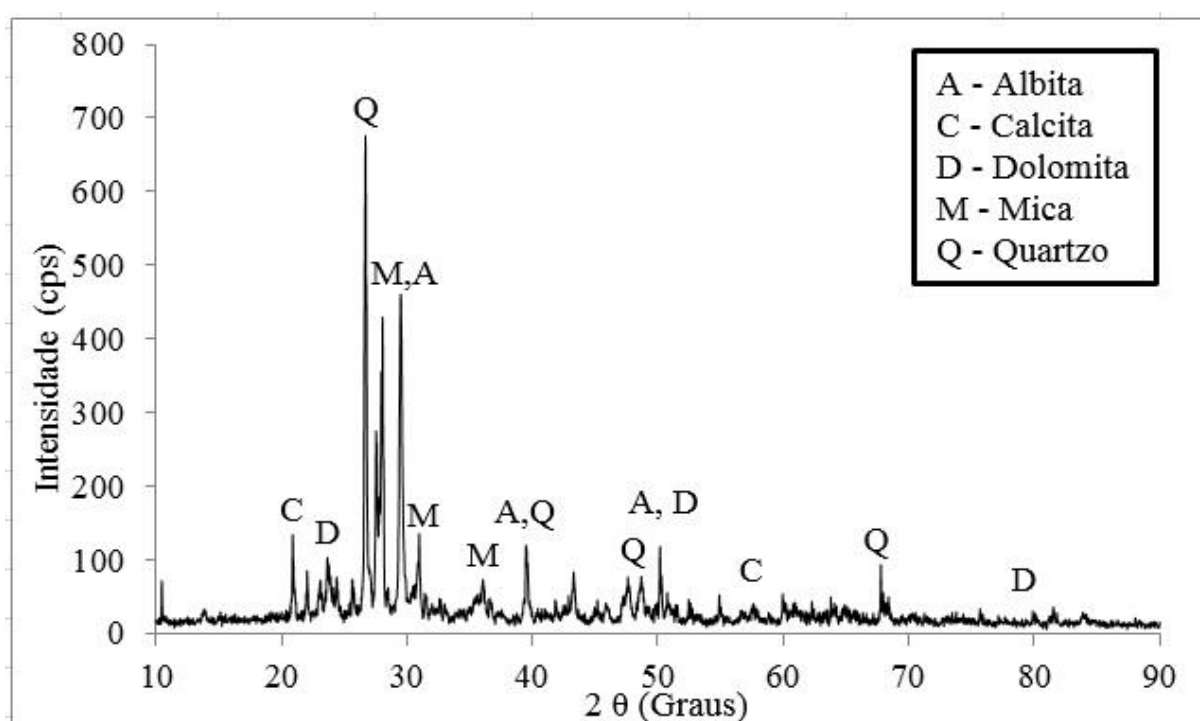
Fonte: Autoria própria (2019)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Difração de Raios - X do resíduo de mármore e granito

A caracterização mineralógica do resíduo foi realizada por meio de difração de Raios-x. A Figura 29 apresenta o difratograma do resíduo utilizado, onde se identificam os principais componentes mineralógicos do material.

Figura 29– Difração de Raios - X do resíduo de mármore e granito



Fonte: Autoria própria (2019)

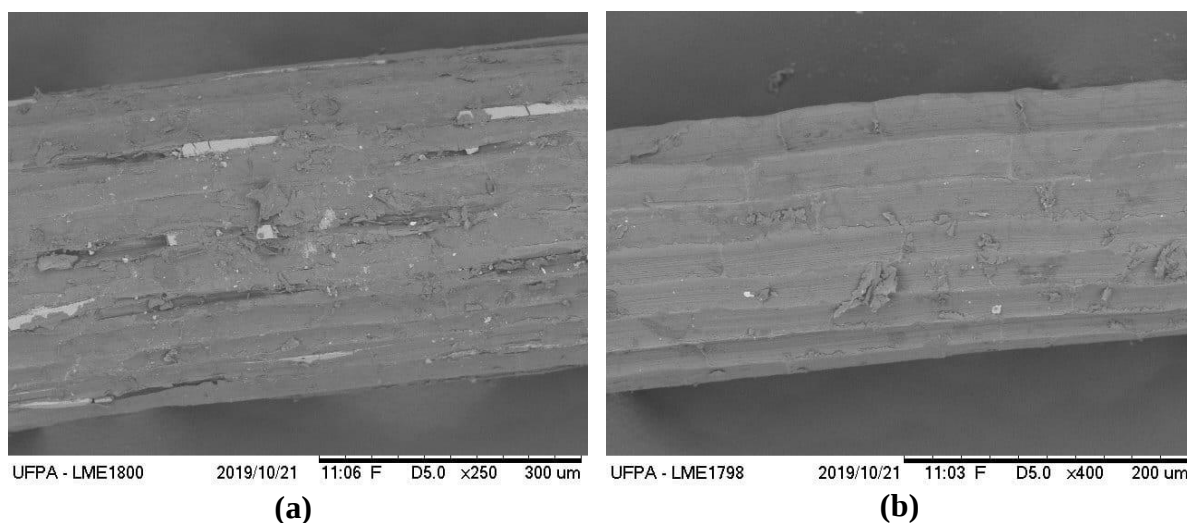
Com base na análise do difratograma da Figura 26 é possível observar a composição mineralógica presente no resíduo de mármore e granito, verificando picos de elevada intensidade dos componentes mineralógicos Quartzo, Albita e Mica, além de componentes de baixa intensidade como Calcita e Dolomita. Esses resultados estão de acordo com os trabalhos de Rodrigues (2016) e Santos *et al.* (2014).

4.2 Morfologia

- Microscopia da fibra de sisal

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada em uma fibra de sisal, como apresenta a Figura 30, com aumentos de 250x e 400x.

Figura 30 - Micrografias obtidas através do MEV da fibra de sisal. (a) Aumento 250x (b) Aumento 400x



Fonte: Autoria própria (2019)

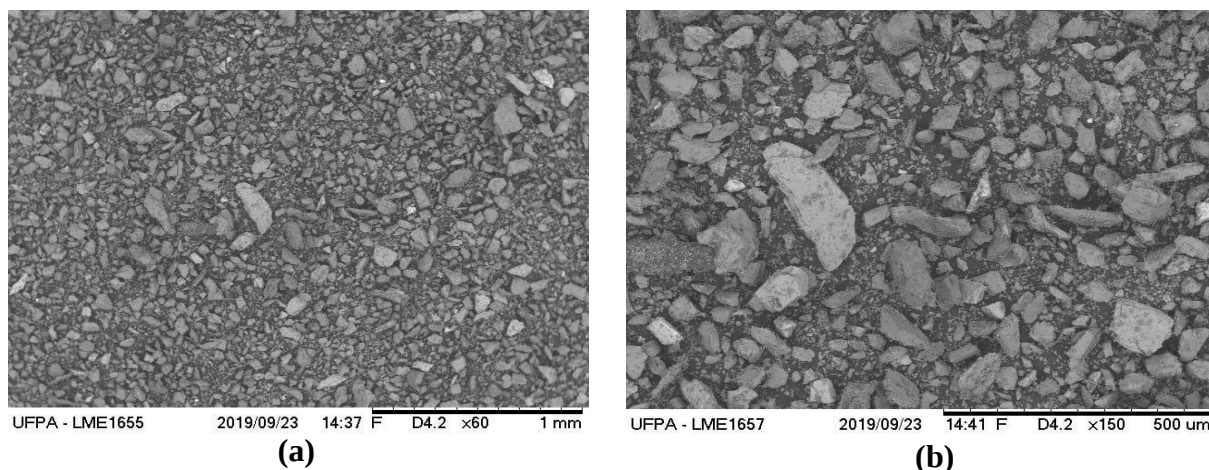
As fibras analisadas não sofreram nenhum tipo de tratamento químico. Por meio da micrografia da Figura 30, pode-se observar que as fibras de sisal possuem algumas impurezas. Além de constituírem uma superfície relativamente rugosa e não uniforme, o que pode ocasionar uma facilidade para adesão entre fibra/matriz.

Segundo Neira (2005), a morfologia da fibra de sisal apresenta uma estrutura rugosa contendo pequenas partículas, possivelmente graxas ou pequenas fibrilas aderidas à superfície. Ademais, de acordo com Caldas (2014), as fibras de sisal comparadas com as fibras sintéticas apresentam formas geométricas diversificadas em sua seção transversal, além de possuírem diâmetros variantes ao longo do comprimento das fibras. Devido esta variabilidade as propriedades físico-mecânicas são influenciadas quando as fibras naturais são inseridas nos materiais compósitos.

- Microscopia do resíduo de mármore e granito

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada no resíduo de mármore e granito nas granulometrias de 100 e 200 Mesh com aumentos de 60 x e 150 x. As Figuras 31 e 32 mostram a micrografias feitas de acordo com seus respectivos aumentos e granulometrias.

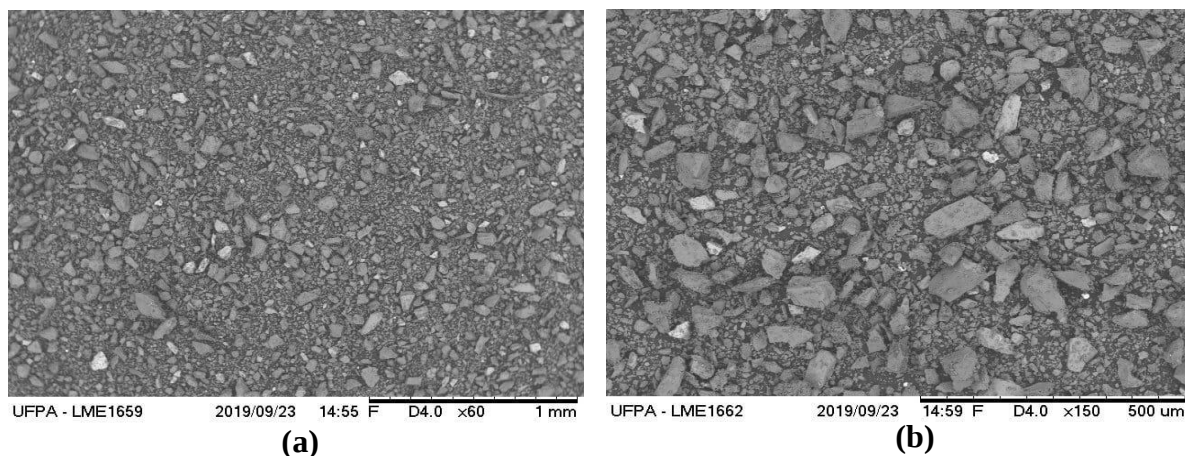
Figura 31 – Micrografias obtidas por MEV do RMG de 100 Mesh: (a) Aumento 60 x. (b) Aumento 150 x.



Fonte: Autoria própria (2019)

A Figura 31 apresenta as micrografias do resíduo de mármore e granito obtidas através do microscópio eletrônico de varredura na granulometria de 100 Mesh. O resíduo apresenta partículas de formas irregulares e tamanhos variados. Segundo Aguiar, Silva e Gadioli (2016) o material constitui uma morfologia angular, na qual as presenças de partículas que se destacam pelo tamanho e pela morfologia estão relacionadas aos grãos de carbonato de cálcio (Calcita) e dolomita.

Figura 32 – Micrografias obtidas por MEV do RMG de 200 Mesh: (a) Aumento 60 x. (b) Aumento 150 x.



Fonte: Autoria própria (2019)

A Figura 32 mostra as diferentes ampliações do resíduo com granulometria 200 Mesh, onde é possível observar partículas mais refinadas, portanto, possuem uma superfície específica maior. Conforme Pazeto *et al.* (2008), quanto mais fino o material, maior será a superfície específica.

4.3 Ensaios físicos

- **Compósitos com inserção de fibras de sisal 15 mm e RMG 100 Mesh**

A Tabela 6 apresenta os valores da massa específica aparente, absorção de água e porosidade aparente dos compósitos com resíduo de mármore e granito na granulometria de 100 Mesh e inserção de fibras de sisal 15 mm.

Tabela 6 – Ensaios físicos dos compósitos híbridos de RMG - 100 Mesh e fibra de sisal - FS 15 mm

Composição (%)	MEA (g/cm³)	AA (%)	PA (%)
0 % RMG / 0 % FS	1,2159 (±0,0052)	1,2816 (±0,4395)	1,5569 (±0,5277)
5 % RMG / 3 % FS	1,2699 (±0,0081)	1,8355 (±0,4108)	2,3282 (±0,5032)
10 % RMG / 3 % FS	1,3537 (±0,0108)	2,0637 (±0,3470)	2,7918 (±0,4560)
15 % RMG / 3 % FS	1,4306 (±0,0112)	2,0790 (±0,3751)	2,9715 (±0,5180)
20 % RMG / 3 % FS	1,4509 (±0,0081)	3,6211 (±0,4092)	5,2520 (±0,5701)

Fonte: Autoria própria (2019)

Os resultados presentes na Tabela 6, mostram que os compósitos híbridos com carga de resíduo de mármore e granito na granulometria de 100 Mesh e fibra de sisal apresentam crescimento de massa específica aparente, em comparação com a matriz plena, conforme o aumento percentual de carga do resíduo. O valor máximo alcançado foi do compósito com proporção de 20 % de resíduo, onde obteve um aumento de 19,32 % em relação à matriz plena.

Esse comportamento ocorre em razão das propriedades físicas dos compósitos, na qual a massa específica do resíduo de mármore e granito (2,60 g/cm³) e fibra de sisal (1,42 g/cm³) é maior que a massa específica da resina (1,15 g/cm³), o que resulta na influência desse aumento. De acordo com Callister (2016) a regra da mistura influi nas propriedades dos compósitos, onde

cada fase constituinte dos compósitos contribui nas propriedades efetivas do material, dependendo da sua fração volumétrica.

Esses fatores também foram observados nos trabalhos de Costa (2016) e Rodrigues (2016). De acordo com Rodrigues (2016) o fator do aumento da massa específica conforme o acréscimo da carga estar relacionado à densidade dos materiais.

Em relação à absorção de água e porosidade aparente os compósitos híbridos apresentaram valores superiores ao da matriz plena, fato este é devido as propriedades hidrofílicas da fibra de sisal. Segundo Megiatto Junior (2006), a fibra de sisal apresenta natureza hidrofílica, devido ao teor de polissacarídeos (hemicelulose e celulose), a fibra possui caráter higroscópico elevado.

- **Compósitos com inserção de fibras de sisal 15 mm e RMG 200 Mesh**

A Tabela 7 apresenta os valores da massa específica aparente, absorção de água e porosidade aparente dos compósitos com resíduo de mármore e granito na granulometria de 200 Mesh e inserção de fibras de sisal 15 mm.

Tabela 7 – Ensaio físicos dos compósitos híbridos de RMG - 200 Mesh e fibra de sisal – FS 15 mm

Composição (%)	MEA (g/cm³)	AA (%)	PA (%)
0 % RMG / 0 % FS	1,2159 (±0,0052)	1,2816 (±0,4395)	1,5569 (±0,5277)
5 % RMG / 3 % FS	1,2623 (±0,0029)	1,3372 (±0,1023)	1,6879 (±0,1292)
10 % RMG / 3 % FS	1,3162 (±0,0057)	1,3434 (±0,1588)	1,7679 (±0,2042)
15 % RMG / 3 % FS	1,4123 (±0,0119)	1,1872 (±0,1172)	1,6775 (±0,1767)
20 % RMG / 3 % FS	1,4917 (±0,0029)	1,1876 (±0,1397)	1,7711 (±0,2056)

Fonte: Autoria própria (2019)

Com base nos resultados da Tabela 7, é possível observar que as massas específicas aparentes dos compósitos com carga de resíduo de mármore e granito na granulometria de 200 Mesh e fibra de sisal apresentaram valores maiores em relação à matriz plena, na qual a carga de 20 % de resíduo obteve um aumento de 18,48 % em comparação à matriz plena. Como mencionado nos resultados da Tabela 6, as densidades dos materiais influenciam diretamente o aumento da massa específica dos compósitos.

Por conseguinte, as propriedades de absorção de água apresentaram valores superiores para compósitos com composição de 5 % RMG / 3 % FS e 10 % RMG / 3 % FS em comparação com a matriz plena. Esse resultado pode ser explicado por meio do alto teor hidrofílico da fibra de sisal. Entretanto os compósitos reforçados com carga de 15 % RMG / 3 % FS e 20 % RMG / 3 % FS apresentaram resultados inferiores. Em relação à porosidade aparente, os valores apresentados foram semelhantes à matriz plena. Portanto, nota-se a relação dessas duas propriedades, pois quanto maior a porosidade aparente maior a absorção de água ou quanto menor a porosidade aparente menor a absorção de água. Esses resultados apresentam-se similares aos trabalhos de Santos *et al* (2014) e Carvalho *et al* (2019). Conforme Santos *et al* (2014), as propriedades da AA e da PA estão diretamente ligadas e apresentam sensibilidade quanto à variação de teor de carga na mistura.

Conforme os resultados apresentados pela Tabela 7 quando comparados com a Tabela 6 mostram que as propriedades da MEA, AA e PA são inferiores. Esse fato ocorre em razão da diferença granulométrica e da dispersão das partículas dentro da matriz, na qual o aumento da granulometria implica em partículas mais refinadas, acarretando na diminuição de vazios em razão do preenchimento dos interstícios, o que reflete na diminuição da porosidade e consequentemente na absorção da água. Segundo López, Azevedo e Barbosa Neto (2005), a uma relação inversamente proporcional entre a absorção de água, porosidade e o aumento da granulometria.

4.4 Ensaio de flamabilidade

- **Compósitos com inserção de fibras de sisal 15 mm e RMG 100 Mesh**

A Tabela 8 apresenta os resultados do ensaio de flamabilidade horizontal dos compósitos com carga de resíduo de mármore e granito na granulometria de 100 Mesh com inserção da fibra de sisal 15 mm.

Tabela 8 – Resultado do ensaio de flamabilidade horizontal –RMG 100 Mesh e fibra de sisal – FS 15 mm

Composição (%)	Taxa de queima (mm/min)
0 % RMG / 0 % FS	27,97 ($\pm 0,81$)
5 % RMG / 3 % FS	27,73 ($\pm 2,75$)
10 % RMG / 3 % FS	29,64 ($\pm 1,94$)
15 % RMG / 3 % FS	24,03 ($\pm 3,88$)
20 % RMG / 3 % FS	23,28 ($\pm 1,73$)

Fonte: Autoria própria (2019)

De acordo com os resultados da Tabela 8, é possível observar que os compósitos com carga de mármore e granito na granulometria de 100 Mesh com inserção e fibra de sisal apresentaram valores menores, com exceção do compósito com carga de 10 %, quando comparados à matriz plena, na qual a carga de 20 % RMG / 3% FS obteve uma redução de aproximadamente 16,76 %. Esses resultados do ensaio de flamabilidade encontram-se de acordo com as recomendações da norma ASTM D 635, recebendo classificação HB, por apresentarem velocidade de propagação à chama inferior a 40 mm/min. Como também obedecem as especificações do Conselho Nacional de Trânsito- CONTRAN, com base na resolução N° 498 de 29 de julho de 2014, que diz que materiais empregados nos revestimentos internos dos habitáculos de veículos não devem apresentar velocidade de propagação de chama maior que 100 mm/min. Semelhantemente aos trabalhos de El Banna (2017) e Costa (2016), os compósitos com carga de resíduo com reforço de fibras também apresentaram redução na sua taxa de queima quando comparados à matriz plena, apresentando velocidade de propagação de chama menor que 40 mm/min.

- **Compósitos com inserção de fibras de sisal 15 mm e RMG 200 Mesh**

A Tabela 9 apresenta os resultados do ensaio de flamabilidade horizontal dos compósitos com carga de resíduo de mármore e granito na granulometria de 200 Mesh com inserção da fibra de sisal 15 mm.

Tabela 9 – Resultado do ensaio de flamabilidade horizontal – RMG 200 Mesh e fibra de sisal – FS 15 mm

Composição (%)	Taxa de queima (mm/min)
0 % RMG / 0 % FS	27,97 ($\pm 0,81$)
5 % RMG / 3 % FS	24,92 ($\pm 1,34$)
10 % RMG / 3 % FS	23,92 ($\pm 0,94$)
15 % RMG / 3 % FS	22,61 ($\pm 1,98$)
20 % RMG / 3 % FS	19,78 ($\pm 1,78$)

Fonte: Autoria própria (2019)

Os resultados apresentados na Tabela 9 dos compósitos híbridos com resíduo de mármore e granito com inserção de fibras de sisal mostram uma tendência de redução em comparação à matriz plena, onde observa-se que o aumento da proporção do resíduo acarreta a diminuição da velocidade de propagação da chama, na qual o compósito com carga 20 % RMG / 3 % FS obteve redução de 29,28 % comparado a matriz plena. Segundo Costa (2016) o aumento da proporção do resíduo nos compósitos atua como um pequeno fator de retardo de chama no material. Conforme a norma ASTM D 635, os compósitos híbridos fabricados enquadram-se na classificação HB, por apresentarem taxa de queima inferior a 40 mm/min e atendem as especificações do CONTRAN/2014 por não excederem a velocidade de propagação de chama de 100 mm/min.

Conforme os resultados obtidos na Tabela 9 quando comparado a Tabela 8, observa-se que os valores da taxa de queima foram menores, por consequência os compósitos de RMG na granulometria de 200 Mesh apresentam um retardo de chama maior que os de 100 mesh. Este resultado ocorre em razão da granulometria de 200 Mesh apresentar partículas mais refinadas e uniformes o que acarreta uma melhor molhabilidade do material e consequentemente ocasiona uma característica retardante da chama. De acordo com Silva (2013), o tamanho das partículas influencia as propriedades mecânicas, dureza do material, resistência à chama e resistência à brasão.

4.5 Ensaio de tração

- **Compósitos com inserção de fibras de sisal 15 mm e RMG 100 Mesh**

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos por meio do ensaio de tração dos compósitos com resíduo de mármore e granito na granulometria de 100 Mesh com inserção de fibra de sisal 15 mm.

Tabela 10 - Resultados do ensaio de tração de compósitos de RMG-100 Mesh e fibra de sisal – FS 15 mm

Composição (%)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
0 % RMG / 0 % FS	16,50 ($\pm 3,25$)	1,88	1,57
5 % RMG / 3 % FS	22,05 ($\pm 1,68$)	6,35	0,62
10 % RMG / 3 % FS	20,05 ($\pm 2,99$)	4,93	0,73
15 % RMG / 3 % FS	18,71 ($\pm 0,95$)	5,07	0,66
20 % RMG / 3 % FS	16,06 ($\pm 1,24$)	4,04	0,71

Fonte: Autoria própria (2019)

Os resultados da Tabela 10 mostram que os compósitos fabricados com carga de 5 % RMG / 3 % FS, 10 % RMG / 3 % FS e 15 % RMG / 3 % FS apresentaram resultados superiores em relação a resistência mecânica, com destaque o compósito de 5 % de resíduo que obteve um aumento de 33,63 % comparado a matriz plena. No entanto, observa-se uma tendência de redução gradativa da resistência à tração dos compósitos com RMG, na granulometria 100 Mesh com inserção da fibra de sisal, com o aumento da proporção do resíduo. Segundo Costa (2016) as propriedades mecânicas dos materiais são fortemente influenciadas pela quantidade de carga dentro dos compósitos, onde o aumento dessa proporção ocasiona a redução da resistência à tração.

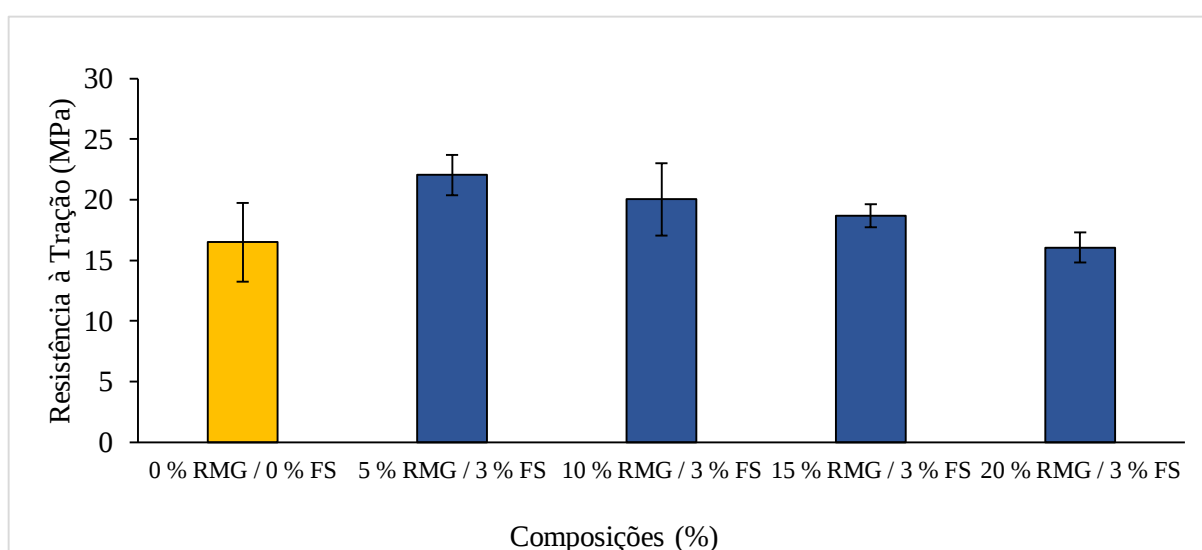
Fato esse pode ser devido à dificuldade de homogeneização com o aumento da quantidade de material dentro do sistema resíduo/fibra/matriz, propiciando o aumento da porosidade ou o resíduo tenha se comportado como carga de enchimento, acarretando a diminuição da resistência mecânica. Analogamente ao trabalho de Costa (2016), onde o compósito de resíduo de lama vermelha com inserção de fibra de sisal, com proporção de 20 %

e 30 % apresentaram tendência de mistura viscosa, não havendo uma boa molhabilidade e trabalhabilidade entre o sistema fibra/resina/lama vermelha.

Com relação ao módulo de elasticidade dos compósitos híbridos fabricados observa-se uma redução em relação ao módulo da matriz plena. Este fato ocorre em virtude das características frágeis presentes na matriz plena, tornando o material menos dúctil, portanto, o material se rompe sem sofrer grande deformação. Segundo Callister (2016) quanto maior o módulo de elasticidade, mais rígido será o material, ou menor será sua deformação elástica mediante a aplicação de uma dada tensão.

A Figura 33 apresenta o gráfico de barra comparativo dos compósitos híbridos confeccionados com granulometria de 100 Mesh, onde é possível observar a variação da resistência à tração de acordo com a proporção do resíduo inserido na matriz polimérica. Além disso, nota-se que as composições de 5 % RMG / 3 % FS, 10 % / 3 % FS e 15% RMG / 3 % FS apresentam resistências mecânicas superiores à matriz plena.

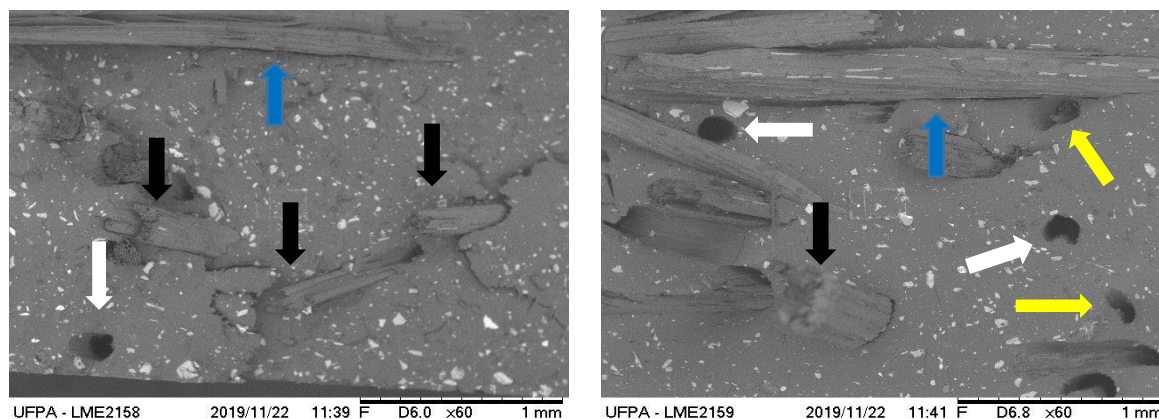
Figura 33 – Gráfico de barra comparativo da resistência à tração dos compósitos na granulometria 100 Mesh.



Fonte: Autoria própria (2019)

A Figura 34 mostra as fraturas dos compósitos híbridos de mármore e granito com granulometria 100 Mesh com inserção da fibra de sisal, analisadas por meio da microscopia eletrônica de varredura.

Figura 34 – Superfícies fraturadas do compósito 5 % RMG / 3 % FS



Fonte: Autoria própria (2019)

Para análise das superfícies fraturadas do compósito polimérico com adição de resíduo de mármore e granito e fibra de sisal 15 mm, foi utilizado a proporção de 5 % RMG / 3 % FS, sendo a carga de resíduo que apresentou maior resistência mecânica quando comparada a matriz plena. Pelas análises das imagens pode-se observar que na fratura da matriz polimérica evidencia-se a presença de algumas imperfeições da superfície fraturada, indicando a presença de alguns vazios (setas brancas), fenômeno decorrente do processo de fabricação e descolamento da fibra na matriz (*pull out*) (setas amarelas). No entanto, nota-se uma predominância das fibras de sisal rompidas (setas pretas) e de fibras dispostas transversalmente a direção do carregamento (setas azuis). Essas análises também foram observadas no trabalho de Costa (2016) em relação ao compósito de fibra de sisal, onde as análises mostraram algumas imperfeições em razão de vazios, mas apresentaram predominância de fibras de sisal rompidas, ocasionando uma boa disposição das fibras na matriz.

- **Compósitos com inserção de fibras de sisal 15 mm e RMG 200 Mesh**

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos por meio do ensaio de tração dos compósitos com resíduo de mármore e granito na granulometria de 200 Mesh com inserção de fibra de sisal 15 mm.

Tabela 11 - Resultados do ensaio de tração de compósitos de RMG-200 Mesh e fibra de sisa – FS 15 mml

Composição (%)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
0 % RMG / 0 % FS	16,50 ($\pm 3,25$)	1,88	1,57
5 % RMG / 3 % FS	15,85 ($\pm 2,12$)	4,43	0,64
10 % RMG / 3 % FS	19,13 ($\pm 1,10$)	4,70	0,73
15 % RMG / 3 % FS	15,22 ($\pm 1,21$)	4,11	0,66
20 % RMG / 3 % FS	15,83 ($\pm 1,89$)	3,80	0,74

Fonte: Autoria própria (2019)

De acordo com os resultados da Tabela 11 é possível observar que a carga de 10 % RMG / 3 % FS apresentou um aumento significativo em relação a matriz plena, demonstrando que as fibras atuaram como reforço efetivo no sistema matriz/resíduo/fibra. No entanto, nota-se que as demais proporções dos compósitos híbridos com granulometria de 200 Mesh apresentaram valores inferiores a matriz plena. Este fato pode estar relacionado a orientação das fibras, na qual foram distribuídas de forma aleatória nas placas. Conforme Milanese (2008) o comprimento e a dispersão da fibra dentro da matriz influencia na resistência a tração dos materiais, onde fibras mais compridas e alinhadas possuem maior resistência em relação a fibras menores, dispersas de forma aleatória dentro da matriz.

Referente ao módulo de elasticidade dos compósitos fabricados nota-se uma diminuição em comparação a matriz plena. Como citado anteriormente este fato está relacionado as características frágeis presentes na resina, o que ocasiona a diminuição da deformação do material resultante da tensão aplicada.

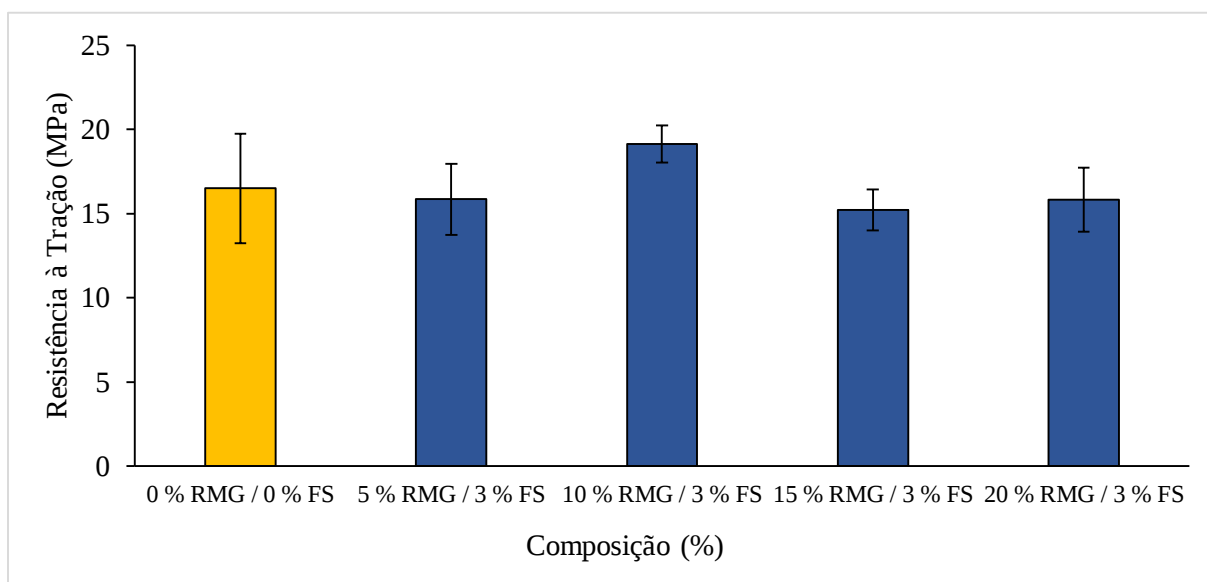
Os resultados da resistência à tração dos compósitos híbridos com granulometria 200 Mesh obtidos na Tabela 11 mostram-se inferiores aos da Tabela 10 de compósitos híbridos com granulometria 100 Mesh. Esse fato é explicado em virtude de as partículas possuírem uma tendência natural das cargas formarem agregado, onde a dificuldade de homogeneização colabora para a tal formação. Segundo Melo (2013) a granulometria e a dispersão das partículas são um importante fator a ser considerado, na qual a propensão natural das cargas consiste na formação de agregados. Portanto, embora as partículas mais refinadas possuam propriedades

mecânicas eficientes, se elas não tiverem devidamente dispersas menor será a interação com a matriz polimérica.

No que se refere aos módulos de elasticidade, tanto os compósitos com granulometria de 100 Mesh quanto os 200 Mesh apresentaram resultados semelhantes. Este comportamento ocorre em razão dos materiais terem apresentado um comportamento dúctil.

A Figura 35 apresenta o gráfico de barra comparativo dos compósitos híbridos confeccionados com granulometria de 200 Mesh, onde é possível observar que as proporções dos compósitos fabricados apresentaram resistências mecânicas inferiores a matriz plena, com exceção da carga de 10 % RMG / 3 % FS.

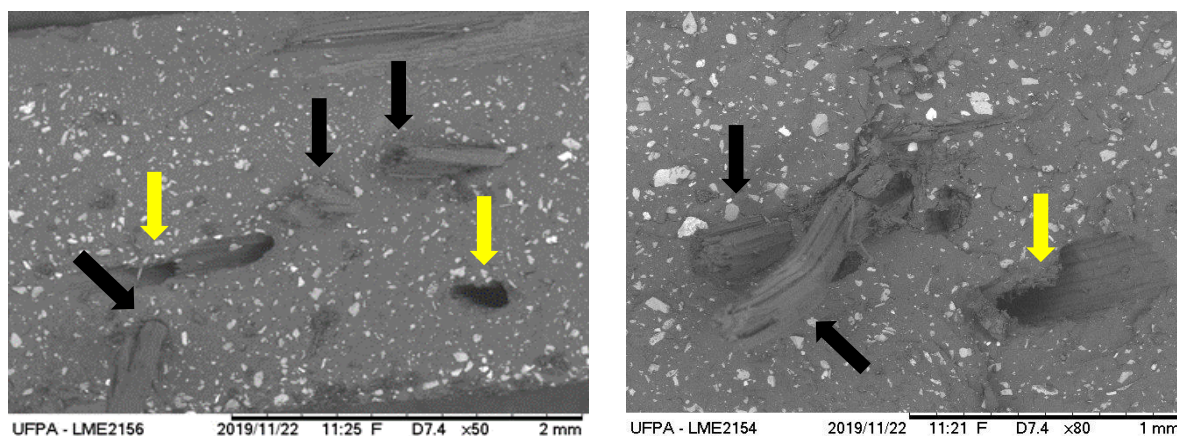
Figura 35 – Gráfico de barra comparativo da resistência à tração do dos compósitos na granulometria 200 Mesh



Fonte: Autoria própria (2019)

A Figura 36 mostra as fraturas dos compósitos híbridos de mármore e granito com granulometria 200 Mesh com inserção da fibra de sisal, analisadas por meio da microscopia eletrônica de varredura.

Figura 36 - Superfícies fraturadas do compósito 10 % RMG / 3 % FS



Fonte: Autoria própria (2019)

Para análise das superfícies fraturadas do compósito polimérico com adição de resíduo de mármore e granito na granulometria de 200 Mesh e fibra de sisal 15 mm, foi utilizado a proporção de 10 % RMG / 3 % FS, sendo a carga de resíduo que apresentou maior resistência mecânica quando comparada a matriz plena. Com bases nas análises das micrografias da superfície de fratura do corpo de prova nota-se a presença de descolamento da fibra matriz (*pull out*) (seta amarela), o que significa baixa adesão na interface resíduo/matriz/fibra. Todavia, é possível observar a existência de fibras de sisal rompidas (setas pretas), ocasionando uma melhora na resistência mecânica do material.

- **Comparação da resistência à tração dos compósitos fabricados com a literatura**

A Tabela 12 apresenta uma comparação dos melhores valores obtidos das propriedades mecânicas de resistência à tração de alguns compósitos híbridos com fibras vegetais e resíduos industriais encontrados na literatura e dos compósitos estudados no presente trabalho.

Tabela 12 – Comparação das propriedades mecânicas dos compósitos em estudo e alguns compósitos poliméricos com resíduos industriais encontrados na literatura

Constituintes	Fração mássica (%)	Resistência à tração (MPa)	Literatura
RMG (100 Mesh) + SISAL (15 mm)	5 % RMG / 3 % FS	22,05 ($\pm 1,68$)	Neste trabalho
RMG (200 Mesh) + SISAL (15 mm)	10 % RMG / 3 % FS	19,13 ($\pm 1,10$)	Neste trabalho
CAULIM (100 Mesh) + BAMBU (15 mm)	20 % RC / 3 % FB	24,47 ($\pm 9,89$)	Barbosa (2018)
RMG (100 Mesh) + JUTA (15 mm)	15 % RMG / 5 % FJ	17,83 ($\pm 1,70$)	Barbosa <i>et al</i> (2019)
CAULIM (100 Mesh) + SISAL (15 mm)	10 % RC / 5 % FS	42,70 ($\pm 1,70$)	Costa (2016)
RMG (100 Mesh) + COCO (50 - 100 mm)	10 % RMG / 1 % FC	17,70 ($\pm 3,36$)	Rodrigues (2016)

Fonte: Autoria própria (2019)

5. CONCLUSÕES

O método de fabricação dos materiais compósitos de matriz polimérica utilizado foi satisfatório, onde os materiais apresentaram poucos defeitos e obtiveram uma resistência mecânica boa quando analisados no ensaio de tração.

A caracterização mineralógica do resíduo foi eficiente, no qual através da difração de Raios-X foi possível identificar as fases cristalinas do resíduo analisado.

Com base na morfologia do resíduo de mármore e granito, observa-se que o resíduo na granulometria de 100 Mesh apresenta partículas de formas irregulares e tamanhos variados, enquanto o resíduo com granulometria de 200 Mesh apresenta partículas mais refinadas. Em relação a morfologia da fibra, a mesma apresentou uma superfície rugosa e não uniforme.

As propriedades físicas de MEA, PA e AA dos compósitos híbridos apresentaram resultados satisfatórios na granulometria de 100 Mesh, conforme o aumento do resíduo, onde materiais com a proporção de 20 % RMG / 3 % FS obtiveram o melhor desempenho em comparação a matriz plena, tendo um aumento da MEA de 19,32 %. Para os resultados dos compósitos com granulometria de 200 Mesh as propriedades físicas de MEA e PA foram superiores, entretanto, a AA apresentou variação menores a matriz plena.

O comportamento de resistência à chama dos compósitos híbridos fabricados apresentaram resultados satisfatórios quando comparados a matriz plena, recebendo classificação HB. Os compósitos na proporção de 20 % RMG / 3 % FS com granulometria de 200 Mesh obtiveram uma redução na sua taxa de queima de 29,28 %, enquanto a proporção de 20 % RMG / 3 % FS com granulometria de 100 Mesh obteve uma redução de velocidade de propagação da chama de aproximadamente 16,76 %.

O compósito híbrido polimérico de resíduo mármore e granito com inserção de fibra de sisal na granulometria de 100 Mesh, que apresentou o melhor comportamento mecânico das series fabricadas foi o compósito de 5 % RMG + 3 % FS, onde obteve uma resistência à tração de 22,05 MPa. Para a granulometria de 200 Mesh, o compósito fabricado que apresentou melhor desempenho de resistência mecânica foi o de proporção 10 % RMG + 3 % FS, na qual obteve uma resistência de 19,13 MPa. Dessa forma percebe-se que os compósitos poliméricos com granulometria 100 Mesh apresentaram melhor eficiência mecânica quando comparados aos de 200 Mesh.

Os fenômenos de falhas presente nos compósitos híbridos poliméricos, tais como: vazios, descolamentos, rompimento de fibras e dispersão influenciam na resistência à tração dos compósitos fabricados.

Diante aos testes realizados, os resultados obtidos demonstram que a utilização do resíduo de mármore e granito com fibras de sisal na matriz polimérica possuiu eficiência para uso nas fabricações de materiais alternativos, como revestimentos internos em gerais.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilizar outro tipo de matriz polimérica na produção do sistema matriz/fibra/resíduo;
- Confeccionar placas de materiais compósitos variando os comprimentos e disposições das fibras vegetais;
- Fabricar e analisar as propriedades das placas de materiais compósitos com outros tipos de resíduos industriais, variando tanto as proporções dos resíduos quanto as fibras utilizadas na matriz;
- Realizar tratamento químico nas fibras vegetais de sisal, afim de obter propriedades melhores.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M.C; SILVA, A.G.P.; GADIOLI, M.C.B. **Caracterização de resíduo de mármore para fabricação de rocha artificial**. 22º CBEiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos materiais, 2016.
- ANDRADE, R.; ORNELAS, J.; BRANDÃO, W. **Situação atual do sisal na Bahia e suas novas possibilidades de utilização e aproveitamento**, 2012.
- ASTM D 2734. **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2009.
- ASTM D 3039. **“Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric)”**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, EUA, 2008.
- ASTM D 570. **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1998.
- ASTM D 635 **"Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position"** Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.
- ASTM D 792. **Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2008.
- BARBOSA, K. S. L. *et al.* **Compósitos poliméricos híbridos com carga de resíduo de mármore e granito e inserção de fibra de juta**. 74º Congresso Anual da ABM ,2019.
- BARBOSA, Karla Suellen Lino. **Incorporação de fibras curtas de bambu (bambusa vulgaris) e resíduo industrial de caulim em compósitos de matriz polimérica: resistência à tração e fractografia**. 2018. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - 3, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2018.
- BEZERRA, Francisco Diniz. **Rochas ornamentais: Novas perspectivas de investimento**. ETENE Nº 21, 2017.
- BRANDÃO, Amanda Torres. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de polipropileno reforçados com fibras do bagaço de cana-de-açúcar**. 2015. 55f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2015.
- BRUKER. **Fontes de raios X.**, 2019 Disponível em: <<https://www.bruker.com/pt/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/x-ray-diffraction/components/xrd-components/sources.html>>. Acesso em 15 de outubro de 2019.
- BRUM, Sebastião Martins. **Influência da granulometria, concentração de sólidos e composição mineralógica nas propriedades reológicas e variáveis de transporte de polpa de bauxita por mineroduto**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de

Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2017.

CALDAS, Bruno Gomes Silveira. **Estrutura sanduíche de matriz poliéster reforçado com tecido de sisal conformado por infusão a vácuo**. Salvador, 2014. 121 f.

CALLISTER JR, W.; RETHWISCH, D. **Ciência e Tecnologia de Materiais: Uma Introdução**. Tradução Sergio Murilo Stamile Soares. 9ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CAO Y., CAMERON J. **Impact Properties of Silica Particle Modified Glass Fiber Reinforced Epoxy Composite**. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2006 25: 761, 2006.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Editora: LTC, Vol. 2 – Ed.6 (1995).

CARVALHO, L. H. de; CAVALCANTI, W. S. **Propriedades Mecânicas de Tração de Compósitos Poliéster/Tecidos Híbridos Sisal/Vidro**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 33-37, 2006.

CARVALHO, P. R. C. *et al.* **Utilização de resíduos da construção civil e demolição em compósitos poliméricos: características físicas, mecânicas e de flamabilidade**. 6 Encontro nacional sobre aproveitamento de resíduos na construção civil-ENARC, 2019.

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. **Revisão: Conceitos dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil.**, 2009.

CHIODI, Filho Cid; RODRIGUES Eleno Paula. **Guia de aplicação de rochas em revestimento**, 2009.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução nº. 498- **"Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos automotores nacionais e importados."**, 29 de julho de 2014.

COSTA, Deibson Silva da. **Caracterização de materiais compósitos de matriz Poliéster e fibras de bambu, sisal, e vidro e híbridos bambu/sisal, bambu/vidro e sisal/vidro**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Pará, 2012.

COSTA, Deibson Silva da. **Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos matriz poliéster reforçados com fibras naturais**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia- Belém, 2016.

DEMAR. **Departamento de Engenharia de Materiais**. Escola de Engenharia de Lorena – EEL. Universidade de São Paulo (USP), 2009. Disponível em: http://www.demar.eel.usp.br/Notas_aulas/compositos. Acesso em: 14 de outubro de 2019.

EL BANNA, Wassim Raja. **Influência de resíduos de flotação de minério de cobre nas propriedades físicas e mecânicas de compósitos de matriz termofixa e fibras de bananeira (*Musa Sapientum*, *Musacae*)**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia- Belém, 2017.

EMBRAPA. **Extrato do sisal é testado como inseticida contra o *Aedes aegypti***. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8841447/extrato-do-sisal-e-testado-como-inseticida-contr-o-aedes-aegypti>>. Acesso em 14 de outubro de 2019.

FARIAS, Dorivane Cohen. **Compósitos híbridos com fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) e lama vermelha: efeito do tratamento químico na resistência à tração dos compósitos**. 2019. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, 2019.

FIEMG. **Sustentabilidade**. Disponível em: <<https://www7.fiemg.com.br/fiemg/area-de-interesse/area/socio-ambiental>>. Acesso em 10 de setembro de 2019.

FREIRE, A.S; MOTTA, J.F. **Rochas de qualidade**, edição 123, julho/agosto, 1997.

GRISON, Elyo Caetano. **Poliéster Insaturado**. Universidade Federal de Santa Maria, 1987.

HENDGES, Antonio Silvio. **Fibras Vegetais**. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2010/07/28/saiba-mais-fibras-vegetais-artigo-de-antonio-silvio-hendges/>>. 2010. Acesso em 12 de outubro de 2019.

JACOB, M; THOMAS, S. **Biofibres and Biocomposites**. Kottayam, Kerala, Índia [S.I.:s.n.], 2002.

JOSEPH, Kuruvila; MEDEIROS, Eliton S.; CARVALHO, Laura H. **Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. Polímeros: Ciência e tecnologia**. Campina Grande, 1999.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L.C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

LÓPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P.; BARBOSA NETO, E. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino**, 2005.

LUZ, Notícias de Santa. **Artesanatos do sisal de três cidades da região serão expostos no pelourinho a partir desta quinta (06)**. 2016. Disponível em: <<http://noticiasdesantaluz.com.br/artesanatos-do-sisal-de-tres-cidades-da-regiao-serao-expostos-no-pelourinho-a-partir-desta-quinta-06/>>. Acesso em: 26 de setembro de 2019.

MAPA. **GT 2 Gargalos das culturas do sisal, malva, piaçava, coco, seda e bambu: breve panorama para orientar uma proposta**, 2019.

MARGUERON, Claudio; MELLO, Edson Farias. **Estratégias competitivas para empresas de rochas ornamentais na região Metropolitana do Rio de Janeiro**, 2005.

MARTINS NETO, José Antônio. **Obtenção, caracterização e utilização de um compósito com matriz de resina poliéster e carga de fibras de sisal**. 2016. 100p. Tese 59 (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MARTINS NETO, Sandoval. Ferreira. **Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades e mecânicas**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

MEDINA, J. C. **Plantas Fibrosas da Flora Mundial**. Instituto Agrônomo de Campinas, p. 787-792, 1959.

MEGIATTO JUNIOR, Jackson Dirceu. **Fibras de sisal: Estudo de propriedades e modificações químicas visando aplicação em compósitos de matriz fenólica**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos – São Carlos, 2006.

MELO, Patricia Maria Alves de. **Compósitos particulados de polietileno de alta densidade e concha de molusco: Efeito do teor e da granulometria**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraíba, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de materiais, 2013.

MENDES, Bruno Henrique Alves. **Estudo da influência da incorporação de resíduo de beneficiamento de caulim nas propriedades de compósitos de matriz polimérica reforçada com fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*)**. Dissertação de mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal do Pará, 2019.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S; NEVES, G. de A. **Cerâmica**. Vol. 48, nº 306, p. 92-101, 2002.

MILANESE, A. C. **Caracterização de compósitos de matrizes poliméricas reforçadas com fibras de sisal e de vidro**. 130 f. Guaratinguetá, 2008.

MONTANI, Carlos. **Relatório anual: Evolução da produção mundial de rochas ornamentais**, 2016.

MORAES, Ingrid Vieira Machado. **Mármore e granito: Lavra, beneficiamento e tratamento de resíduos**. Serviço Brasileiro e Respostas Técnicas – SBRT, 2006.

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. **Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha**, 2003.

NAIK, N. K.; SIRISHA, M.; INANI, A. **Permeability characterization of polymer matrix composites by RTM/VARTM**. Progress in Aerospace Sciences, 2013.

NEIRA, Dorivalda Santos Medeiros. **Fibra de sisal (*Agave sisalana*) Como isolante térmico de tubulações**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.

OLIVEIRA, T. de.; RIBEIRO, P. R.; MOREIRA, T. F. **Caracterização de lamas do corte de granitos com vistas ao uso em obras geotécnicas**. Ciência e engenharia, 2016.

PAZETO, A. A. *et al.* **Caracterização do Resíduo de Serragem do Granito Iberê Crema Bordeaux Visando sua Incorporação em Cerâmica Argilosa**. In: 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2008, Porto de Galinhas. Anais do 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2008.

PIRES, Joyce Suellen Coelho. **Fibras naturais: características químicas e potenciais aplicações**, 2009. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Ciências Biológicas – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2009.

RODRIGUES, Diego Nery. **Influência da adição de resíduo de mármore e granito em compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de coco**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, 2016.

SANTO, Walter Zagalo Espírito. **Materiais compósitos**. 2016. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/10821969-Materiais-compositos.html>>. Acesso em: 10 de outubro de 2019.

SANTOS, I. F. *et al.* **Reciclagem de resíduos de mármore e granito em matrizes poliméricas**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química-COBEQ, 2014.

SILAEX, **Poliéster insaturado**. 2018. Disponível em: <[Http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm](http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm)> Acesso em: 15 de outubro de 2019.

SILVA, A. L. B. B; SILVA, E. O. **Conhecendo materiais poliméricos**. 2003.

SILVA, Anderson Ezequiel. **Compósitos de poliéster reforçados com fibra de vidro: efeito da adição de pó de coco nas propriedades mecânicas, morfologia e custos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, Ciência e Engenharia de Materiais, 2013.

SILVA, J. P. S. F. **Optimização das condições de produção de resinas de poliéster insaturado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

SILVA, Nayla Gonçalves. **Influência do tratamento químico das fibras de bambu (Bambusa vulgaris) na propriedade mecânica de tração dos compósitos híbridos (Fibra e lama vermelha)**. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, 2019.

SILVA, O. R. R. F. *et al.* **Cultivo do sisal no Nordeste Brasileiro**. Campina Grande-PB 2008.
SILVA, O.R.R.F. da; BELTRÃO, N.E. de M. org. **Agronegócio do sisal no Brasil**. Brasília: EmbrapaSPI/Embrapa-CNPA, 205p 1999.

SINDIFIBRAS. **Sisal em números**. Disponível em: <<http://www.sindicatodaindustria.com.br/sindifibrasba/quemsomos/>>. Acesso em 20 de outubro de 2019.

SPALA, S. T. *et all.* **Caracterização tecnológica de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais para seu uso em concreto.** XXV Jornada de Iniciação Científica em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 2017.

VITÓRIO, Reginaldo Francisco. **Saiba como é produzido o sisal, e conheça suas aplicações.** 2015. Disponível em: <<https://blogdogesseiro.com/saiba-como-e-produzido-o-sisal-e-conheca-suas-aplicacoes/>> Acesso em: 10 de outubro de 2019.