

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**JAQUELINE SANTANA DE SAAB**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITO DE ROCHA  
ORNAMENTAL (MÁRMORE) E MATRIZ POLIMÉRICA**

**BELO HORIZONTE**

**2017**

**JAQUELINE SANTANA DE SAAB**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITO DE ROCHA  
ORNAMENTAL (MÁRMORE) E RESINA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado pelo curso de graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana B. Palhares

Belo Horizonte

2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por estar sempre ao meu lado guiando meus passos.

A minha família por sempre me apoiar, ao meu amado esposo carinho e compreensão.

Agradeço em especial a minha orientadora professora Dra. Luciana Boaventura Palhares, pelos ensinamentos transmitidos através de seus conhecimentos e de sua experiência, por sua dedicação e paciência.

## RESUMO

Rochas ornamentais, como mármore e granito, são muito conhecidas devido as suas inúmeras utilizações, principalmente, na construção civil como material de revestimento e produção de peças para decoração. As empresas mineradoras, muitas vezes, não destinam corretamente seus resíduos fazendo com que suas atividades se tornem cada vez mais danosas ao ecossistema local. O resíduo gerado pela extração do mármore, por exemplo, assim como seu beneficiamento podem trazer diversos impactos ao meio ambiente. No país, a produção anual desse material sem utilização é de aproximadamente 1,5 milhões de toneladas. O presente trabalho consiste em produzir um compósito, para aplicação em revestimentos de interiores, utilizando como carga mineral rejeitos da indústria de mármore. Inicialmente o resíduo foi caracterizado via difração de raios-x, análise química, microscopia (MEV) e granulometria. Após avaliação da qualidade do resíduo, placas de compósito foram produzidas e caracterizadas quanto as propriedades físicas e mecânicas, MEV, porosidade, densidade, resistência a flexão e dureza. As placas foram produzidas através de mistura do resíduo com resina poliéster, colocados em mesa vibratória e em seguida deixados à temperatura ambiente para que as reações químicas acontecessem em tempo hábil para endurecimento do compósito. O resíduo se apresentou sem impurezas, constituído principalmente de carbonato de cálcio. Os compósitos produzidos apresentaram aumento densidade, resistência à flexão e dureza diretamente proporcionais ao aumento de carga e diminuição da porosidade do material.

**Palavras-chave:** compósito polimérico, resíduos de mármore, resina poliéster, carga mineral.

## ABSTRACT

Ornamental stones, such as marble and granite, are well known due to their numerous uses, mainly in civil construction as coating material and production of decorative pieces. Mining companies often do not properly dispose of their waste, causing their activities to become increasingly harmful to the local ecosystem. The waste generated by the extraction of marble, for example, as well as its processing can bring several impacts to the environment. In the country, the annual production of this unused material is approximately 1.5 million tons. The present work consists of producing a composite, for application in interior coatings, using as mineral filler tailings from the marble industry. Initially the residue was characterized by x-ray diffraction, chemical analysis, microscopy (SEM) and granulometry. After evaluation of the residue quality, composite slabs were produced and characterized as the physical and mechanical properties, SEM, porosity, density, flexural strength and hardness. The plates were produced by blending the residue with polyester resin, placed on a vibratory table and then left at room temperature so that the chemical reactions occurred in a timely manner for the hardening of the composite. The residue presented without impurities, consisting mainly of calcium carbonate. The composites produced presented increased density, flexural strength and hardness directly proportional to the increase of load and decrease of the porosity of the material.

**Keywords:** polymer composite, marble waste, polyester resin, mineral filler.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de classificação dos compósitos.....	14
Figura 2 – Fluxograma representativo da metodologia .....	21
Figura 3 - Difratoograma de raios-X, em (A) pó de mármore e (B) resíduo de mármore. ....	26
Figura 4 - Curvas de distribuição granulométrica (A) do resíduo e (B) do pó de mármore.....	28
Figura 5 - Micrografia de MEV do resíduo de mármore, (a) aumento de 100x; (b) aumento de 500x .....	29
Figura 6 - Micrografia de MEV do pó de mármore, (a) aumento de 100x; (b) aumento de 500x .....	29
Figura 7 - Corpos de prova do compósito produzidos com o resíduo de mármore. Na figura, as porcentagens indicam a quantidade de carga mineral. ....	30
Figura 8 - Corpos de prova do compósito produzidos com pó de mármore processado. Na figura, as porcentagens indicam a quantidade de carga mineral. ....	30
Figura 9 - Comparativo do comportamento da densidade aparente para os compósitos com resíduo e pó mármore .....	32
Figura 10 - Porosidade aparente para os compósitos com resíduo e pó mármore.....	33
Figura 11 - Comparativo do comportamento da resistência a flexão para os compósitos com resíduo e pó mármore .....	34
Figura 12 - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 30% de resíduo de mármore com os aumentos de 400x (a), 1000x (b) e 5000x (c) e do compósito com 30% de pó de mármore com os aumentos de 400x (d), 1000x (e) e 5000x (f).....	36
Figura 13 - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 50% de resíduo de mármore com os aumentos de 400x (a), 1000x (b) e 5000x (c) e do compósito com 50% de pó de mármore com os aumentos de 400x (d), 1000x (e) e 5000x (f).....	36
Figura 14 - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 70% de resíduo de mármore com os aumentos de 400x (a), 1000x (b) e 5000x (c) e do compósito com 70% de pó de mármore com os aumentos de 400x (d), 1000x (e) e 5000x (f).....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formulação os corpos de prova.....	23
Tabela 2 – Formulação para grupos de compósitos produzidos com resíduo e pó de mármore .....	23
Tabela 3 - Diâmetros equivalentes para o resíduo e pó de mármore.....	27
Tabela 4 - Valores das propriedades físicas para os compósitos produzidos com resíduo de mármore e do compósito com pó de mármore .....	31
Tabela 5 - Valores obtidos no ensaio de resistência à flexão (MPa) em três pontos para os corpos de prova de resina polimérica, resíduo e pó de mármore .....	33
Tabela 6 - Valores obtidos nos ensaios de microdureza para os corpos de prova do compósito com resíduo e pó de mármore.....	35

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais

ASTM - American Society for Testing and Materials

DEMAT – Departamento de Engenharia de Materiais

DRX – Difração de raios X

EDS – Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios X

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

P-G X – Pó de Mármore Grupo X

R-GX – Resíduo de Mármore Grupo X



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. OBJETIVOS .....	12
2.1. Objetivo geral.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1. Materiais Compósitos.....	13
3.2. Matrizes poliméricas .....	14
3.2.1. Matriz polimérica .....	14
3.2.2. Resina poliéster insaturada.....	15
3.2.3. Compósitos de matriz polimérica reforçados por partículas .....	15
3.3. Rocha Ornamental.....	16
3.3.1. Mármore.....	16
3.4. Rocha artificial .....	16
3.5. Resíduos sólidos industriais .....	17
3.6. Reciclagem de Resíduos Sólidos.....	18
3.7. Resíduo da indústria de rochas ornamentais .....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	21
4.1. Materiais.....	21
a) Resíduo de Mármore .....	21
b) Pó de Mármore .....	21
c) Resina Poliéster.....	21
4.2. Métodos.....	21
4.2.1. Caracterização da Matéria Prima .....	22
4.2.1.1. Análise mineralógica.....	22
4.2.1.2. Distribuição granulométrica .....	22

4.2.1.3.	Análise morfológica das partículas .....	22
4.2.2.	Produção do Compósito (Rocha Artificial).....	22
4.2.3.	Caracterização do Compósito (Rocha Artificial) .....	23
4.2.3.1.	Porosidade, Absorção de Água e Densidade Aparente .....	23
4.2.3.2.	Ensaio de Flexão em três pontos .....	24
4.2.3.3.	Ensaio de Microdureza Vickers .....	25
4.2.3.4.	Análise microestrutura do compósito.....	25
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	26
5.1.	Propriedades das Matérias Primas.....	26
5.1.1.	Análise mineralógica.....	26
5.1.2.	Distribuição Granulométrica .....	27
5.1.3.	Análise morfológica das partículas .....	29
5.2.	Propriedades do Compósito (Rocha artificial) .....	30
5.2.1.	Propriedades físicas.....	31
	Fonte: Elaborada pelo autor. ....	31
5.2.2.	Ensaio de Flexão .....	33
5.2.3.	Teste de Microdureza Vickers (HV).....	34
5.2.4.	Microestrutura do compósito produzido .....	35
6.	CONCLUSÕES.....	38
7.	REFERENCIAS .....	39

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é mundialmente reconhecido pela produção e comercialização de rochas ornamentais, figurando entre os maiores exportadores. Segundo ABIROCHAS a produção de rochas ornamentais no Brasil, no ano de 2016, ficou em torno de 9,5 Mt, sendo que dessas, aproximadamente 20% corresponde ao mármore. Os resíduos gerados na lavra e beneficiamento de rochas ornamentais (mármore, granito, quartzo, ardósia e outras) podem variar de 65% a 75% em massa (FIEMG, 2015). Além de gerar um grande impacto ambiental, tornam-se um problema para os produtores que os estocam sem qualquer forma de utilização viável.

Geralmente, pode-se identificar praticamente dois tipos principais de resíduos: os grosseiros, gerados pela quebra das peças durante o corte, e os finos, que aparecem na forma de lama. Esta lama, no caso do mármore, é constituída de água, gralha, cal e de rocha moída e apresenta granulometria ultrafina podendo ser aplicada como carga mineral em diversos setores, como, por exemplo, na indústria polimérica.

O Brasil importa materiais artificiais de 23 países, onde EUA, China e Itália são os principais destinos das exportações brasileiras de rochas ornamentais. Juntas, as exportações efetuadas para esses três países, no 1º semestre de 2017, representaram 82,3% (US\$ 466,4 milhões) do total do faturamento, com 65,6% (US\$ 372,1 milhões) para os EUA, 10,7% (US\$ 60,8 milhões) para a China e 5,9% (US\$ 33,5 milhões) para a Itália. (ABIROCHAS, 2017). Esses materiais possuem alto valor comercial e apresentam propriedades mecânicas similares às da rocha natural com uma menor absorção de água (PEDRA ARTIFICIAL, 2017). Apesar do elevado preço, placas de rocha artificial apresentam propriedades superiores às das placas cerâmicas de primeira linha, em função de sua excelente resistência à flexão e brilho superficial (LEE *et al.* 2008).

A produção de rocha artificial pode oferecer meios para redução dos rejeitos depositados diariamente, com a possibilidade do seu aproveitamento em produtos com alto valor agregado e ambientalmente correto.

O presente trabalho apresenta o estudo da obtenção e caracterização visando a aplicação de um compósito de matriz de resina poliéster ortoftálica cristal e resíduos de mármore extraídos diretamente das regiões de lavra e beneficiamento e pó de mármore processado em laboratório.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Produzir e caracterizar um compósito de matriz polimérica reforçado com resíduos da indústria de mármore e resina poliéster para utilização como rocha artificial.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar quanto a granulometria, difração de raios X e morfologia as características do resíduo de mármore;
- Caracterização do compósito para avaliar o aumento da porcentagem do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas, como densidade, absorção de água, porosidade, resistência a flexão, microdureza, no compósito produzido;

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Materiais Compósitos**

Os compósitos são materiais multifásicos, produzidos artificialmente, na qual as fases constituintes exibe uma proporção significativa de suas propriedades. Logo o princípio da ação combinada entre as fases constituintes de diferentes estruturas moleculares com diferente propriedade, tem como objetivo a melhoria de propriedades mecânicas, tais como tração, flexão, dureza, impacto, resistência térmica e ao meio ambiente (Callister, 2012).

Os compósitos também podem ser definidos como uma mistura ou combinação de dois ou mais micro ou macro constituintes que diferem na forma e na composição química e que, na sua essência são insolúveis uns nos outros (SMITH, 2012).

Pode-se dizer que a combinação de materiais tem objetivo de formar novos materiais, com propriedades superiores, ou melhores, em alguns aspectos, às propriedades de seus constituintes que de forma individual.

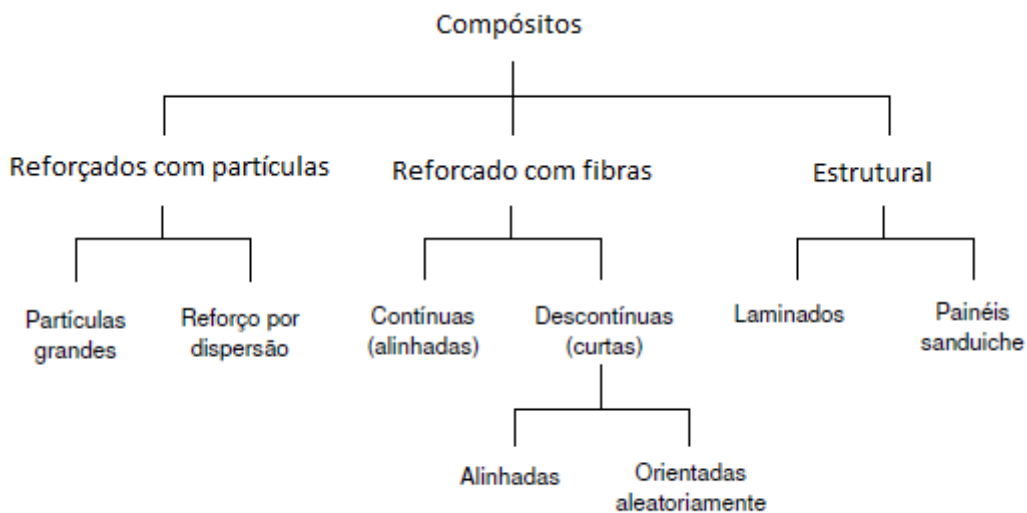
Os compósitos mais simples são formados por duas fases: denominada matriz, que é contínua e envolve a segunda fase, definida como de elemento de reforço, que atua aprimorando as propriedades mecânicas da matriz (OLIVEIRA, 2007).

A escolha de um reforço é bastante complexa, pois existem variações de tipos, formas e tamanhos entre outros fatores. Mais de um tipo de reforço podem ser aplicados em um compósito formando uma combinação híbrida. Os principais requisitos para escolha de um reforço são: melhoria nas qualidades desejadas, baixa absorção de umidade, baixo custo, disponibilidade e compatibilidade com a matriz (SILVA, 2015)

A função básica da matriz em materiais compósitos é agir como um meio de transferência ou distribuição de carga para os reforços através do cisalhamento. Outra função da matriz em um compósito é proteger o reforço da abrasão mutua, danos provocados por agentes externos evitando assim a degradação pré-matura do reforço (LION, 2013).

A interface é a região responsável pela transferência de carga entre a matriz e o reforço, e a qualidade dessa interação é um fator fundamental no desempenho mecânico do compósito. Para que ocorra tal interação é essencial à existência de uma área de contato maior possível entre os componentes constituintes do compósito.

Um esquema de classificação dos materiais compósitos é mostrado na Figura 1, evidenciando as três principais divisões: os compósitos reforçados com partículas, os compósitos reforçados com fibras e os estruturais.



Fonte: Callister, 2012

**Figura 1** - Esquema de classificação dos compósitos

## 3.2. Matrizes poliméricas

### 3.2.1. Matriz polimérica

A matriz é a fase contínua de um compósito e é um constituinte fundamental que tem como objetivo de manter a coesão da fase reforço, proteger o reforço; proteger o reforço durante o manuseio; distribuir o carregamento pelo reforço.

Esta fase pode ser um metal, polímero, cerâmico ou cimento. Serão tratados os polímeros dado que atualmente são os utilizados nas matrizes reforçadas com fibras vegetais, devido ao seu fácil processamento, baixa densidade e visto que se recorrerá a estes para todas as experiências e ensaios a serem feitos.

A matriz polimérica divide-se em dois grandes grupos que são os termoplásticos e os termoendurecíveis.

### **3.2.2. Resina poliéster insaturada**

O poliéster insaturado é uma resina termofixa obtida através da reação de esterificação com álcoois e ácidos polifuncionais e posteriormente dissolvidos em monômeros copolimerizáveis.

A sua polimerização ou endurecimento se processa à temperatura ambiente ou elevada, pela ação de um peróxido orgânico que ao se decompor quebra as duplas ligações (insaturação) contidas na molécula da resina e do monômero, ligando-os para formar um polímero de cadeia tridimensional e, portanto, de característica termofixa, o que vale dizer que após endurecido não volta mais ao estado original mesmo com a ação de calor (DIPROFIBER, 2017).

### **3.2.3. Compósitos de matriz polimérica reforçados por partículas**

Os compósitos reforçados com partículas são subdivididos de acordo com o mecanismo de reforço ou o aumento da resistência, sendo então classificados como compósitos com partículas grandes, onde o termo “grande” é usado para indicar a interação partícula-matriz, não sendo tratado a nível atômico ou molecular, sendo a que a mecânica do contínuo que deve ser considerada, e compósitos reforçados por dispersão, onde as partículas possuem diâmetro entre 0,01 e 0,1  $\mu\text{m}$ , nesse sistema o aumento da resistência ocorre a nível atômico ou molecular (Callister, 2012).

Em muitos destes compósitos, as partículas de reforço são mais duras e rígidas do que a matriz. O mecanismo de aumento da resistência em que a matriz polimérica suporta a maior parte de carga aplicada, enquanto as partículas dispersas impedem ou dificultam o movimento das discordâncias. O grau de reforço ou melhoria do comportamento mecânico depende da forte ligação na interface matriz-partícula. Com isso a deformação plástica é restringida e as propriedades de limite de escoamento, resistência a tração e dureza são melhoradas (Callister, 2012).

Em compósitos de matriz polimérica, as partículas são usadas devido a várias razões: melhorar o processamento, controle de densidade, efeitos óticos, controle da expansão térmica, retardamento de chama, modificações no que se refere às propriedades de condutividade térmica, resistência elétrica e susceptibilidade magnética, além de melhora de propriedades mecânicas, tais como a dureza e a resistência ao rasgo.

As principais características consideradas no desempenho das partículas para produção de um compósito são: propriedades mineralógicas (composição química, estrutura cristalina, propriedades ópticas, hábito, clivagem e dureza, densidade, brilho, cor e propriedades físico-químicas de superfície), granulometria, área de superfície específica e relação de aspecto (aspect ratio) (LIMA, 2007).

### **3.3. Rocha Ornamental**

A rocha ornamental é considerada um material rochoso natural, podendo ser submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, sendo utilizado para exercer função estética. (ABNT NBR 15012:2003).

As rochas ornamentais são principalmente granitos, quartzitos, arenitos, ardósias, mármore, travertinos, metaconglomerados, esteatitos (pedra-sabão), dentre outros, e suas aplicações são variadas, podendo ser utilizado em esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, revestimentos internos e externos de paredes, pisos, colunas, pilares, soleiras, telhados, por exemplo (FIEMG, 2015).

#### **3.3.1. Mármore**

O mármore é uma rocha metamórfica, caracterizados pela presença de minerais carbonáticos, como a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita ( $(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$ ), com graus variados de recristalização metamórfica, (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).

A composição mineralógica depende da composição química do sedimento e do grau metamórfico, possibilitando uma grande variedade de cores e texturas (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).

No setor de rochas ornamentais e de revestimento o termo mármore é utilizado para descrever todas as rochas carbonáticas, metamórficas ou não, capazes de receber polimento e lustro (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).

### **3.4. Rocha artificial**

A rocha artificial também conhecida como rocha industrializada ou rocha composta é produzida com 95% de agregados naturais. Esses agregados que compõe a rocha artificial muitas vezes são constituídos por partículas de mármore, granito triturado, areia de quartzo, cristais de vidro como sílica ou óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) e demais compostos que misturados



com agentes aglutinantes, como resinas poliméricas, que dependendo do agregado principal origina-se o tipo de rocha artificial. Dentre as pedras artificiais, podem ser destacadas três linhas de produção, a realizada através de partículas de mármore e resina de poliéster, conhecida como Mármore Composto, a de produção à base de cristais de vidro, conhecida como Superfície Cristalizada de Vidro, e a realizada por agregados de quartzo e granito triturado, conhecida como Superfície de Quartzo (PEDRA ARTIFICIAL, 2017).

O granito sintético, de acordo com as empresas é o que mais se sobressaem no desenvolvimento da rocha artificial e construção de equipamentos para a manufatura deste produto, é um material maciço, impermeável, não mancha, uma vez que a penetração de líquido é impedido, ficando apenas sobre a sua superfície uma vez que a resina serve não só para fazer a adesão entre as partículas da rocha, mas penetra entre os seus interstícios (vazios ou poros) eliminando a porosidade da pedra (MOLINARI, 2007).

O Mármore Composto ou mármore artificial, é produzido entre a mistura de partículas de mármore natural (95%) e agentes aglutinantes (5%), resultando num material aparentemente similar ao mármore natural.

O mármore natural, devido a sua beleza e durabilidade, foi o material de preferência dos construtores. Porém, o mármore natural apresenta uma série de limitações quanto ao seu uso, entre as quais: custo elevado, suscetibilidade à manchas e facilidade de quebra. Já o mármore sintético proporciona propriedades melhores, como menor suscetibilidade a manchas, maior resistência a abrasão e impacto possui custo mais baixo e permite a obtenção de uma gama enorme de cores padrões, como também de formas e tamanhos. (COOPMACO, 2014).

O mármore sintético, por possuir alta versatilidade, beleza, excelente resistência mecânica, insensibilidade à manchas e ser de custo mais baixo, é uma boa opção para a construção civil, quando comparado ao mármore natural (COOPMACO, 2014).

### **3.5. Resíduos sólidos industriais**

Nas fases dos processos de exploração de rochas ornamentais, existem problemas relacionados ao meio ambiente. Os impactos ambientais causados pela mineração de rochas ornamentais começam antes mesmo do desmonte, ainda nas fases de prospecção e pesquisa mineral e são agravados com a abertura da frente de lavra, implantação do empreendimento, extração, beneficiamento e refino da rocha propriamente dita (FIEMG, 2015.)

Os impactos que se destacam são: desmatamento, geração e disposição de estéreis, ruídos, efluentes líquidos, poeira e problemas associados a recursos hídricos como assoreamento. Os problemas gerados afetam todos os tipos de rochas, com variações apenas quanto à severidade do impacto nas etapas de beneficiamento em função das técnicas utilizadas.

### **3.6. Reciclagem de Resíduos Sólidos**

A reciclagem faz referência a uma reintrodução de alguma coisa à um determinado ciclo. No setor de resíduos sólidos significaria a reintrodução dos resíduos gerados por todos os setores da sociedade no ciclo de produção.

Durante muitos anos a preocupação das indústrias foi de apenas produzir, sem preocupar-se com as consequências que isso geraria ao meio ambiente. Hoje algumas empresas já estão cientes das limitações dos recursos naturais, procurando aproveitar melhor seus recursos aplicando eficientes processos na redução dos resíduos e dejetos industriais (SANTOS, 2007).

Embora seja possível e prioritário reduzir a quantidade de resíduo durante a produção e até o pós-consumo, eles sempre são gerados. O fechamento do ciclo produtivo, gerando novos produtos a partir da reciclagem de resíduos, é uma alternativa insubstituível. Assim o desenvolvimento de tecnologias para reciclagem de resíduos ambientalmente eficientes e seguras, que resultem em produtos com desempenho técnico adequado e que sejam economicamente competitivas nos diferentes mercados é um desafio de fundamental importância (SILVA, 2006).

A reciclagem é um processo industrial que converte o resíduo descartado (matéria-prima secundária) em produto semelhante ao inicial ou outro. Reciclar é economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o que é jogado fora. A palavra reciclagem foi introduzida ao vocabulário internacional no final da década de 80, quando foi constatado que as fontes de petróleo e outras matérias-primas não renováveis estavam e estão se esgotando (AMBIENTE BRASIL, 2017).

A reciclagem de resíduos industriais não é uma questão simples e focalizada em termos de conhecimento. Pelo contrário, requer conhecimentos multidisciplinares, que se baseiam em técnicas de engenharia, princípios de economia, das ciências sociais, e das técnicas de planejamento urbano e regional (PEREIRA, 2006)

Uma grande variedade de resíduos vem sendo utilizados em substituição aos materiais convencionais, tanto por motivos econômicos, como ambientais. Plásticos, vidros, fibras naturais, entre outros são exemplos de materiais que já estão sendo utilizados, como agregados ou misturados, na produção de materiais como o concreto, por exemplo, abrindo assim um amplo campo para o desenvolvimento de novos produtos, com características físicas e mecânicas semelhantes ou melhoradas se comparada aos materiais convencionais (SILVA, 2006).

- A reciclagem traz ainda os seguintes benefícios:
- Contribui para diminuir a poluição do solo, água e ar.
- Melhora a limpeza da cidade e a qualidade de vida da população.
- Prolonga a vida útil de aterros sanitários.
- Melhora a produção de compostos orgânicos.
- Gera empregos para a população não qualificada.
- Gera receita com a comercialização dos recicláveis.

Estimula a concorrência, uma vez que produtos gerados a partir dos reciclados são comercializados em paralelo àqueles gerados a partir de matérias-primas virgens. Contribui para a valorização da limpeza pública e para formar uma consciência ecológica.

Os países mais industrializados são os que mais produzem resíduos sólidos, mas também são os que mais reciclam. Nestes países há um maior engajamento da população nas questões da preservação ambiental (SANTOS, 2007).

A valorização do produto reciclado, como opção ao tradicional, exige que o produto possua algumas características que demonstrem ao consumidor que ao utilizar este produto estará contribuindo diretamente para uma melhoria na qualidade de vida atual e futura através da redução dos níveis de impactos ambientais. Dessa forma um estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental é de extrema importância antes do lançamento do produto no mercado.

### **3.7. Resíduo da indústria de rochas ornamentais**

Apesar de todo o incremento gerado pela indústria de rochas ornamentais na economia mundial, vários são os impactos negativos que o gerenciamento inadequado dos resíduos gerados durante a fase produtiva pode causar (SILVA, 2011)

A atividade minerária é causadora de impactos ambientais irreversíveis desde o início da cadeia, pois a extração de rochas, mesmo que realizada com todas as cautelas ambientais disponíveis, trata-se da retirada do meio ambiente de um mineral, causando inclusive impactos visuais negativos, pois para se atingir a rocha a ser extraída, necessário se faz a retirada da vegetação e do solo.

Nesta atividade extrativa a geração de resíduos é em grande escala proporcionada pelos restos de rochas, que não tem periculosidade acentuada desde que dispostos de maneira adequada, evitando desmoronamentos e assoreamento de rios e córregos, não trará maiores transtornos além da alteração do aspecto visual (SILVA, 2011).

Outro fato a ser considerado é que embora a redução na geração de resíduo seja sempre uma ação necessária, ela é limitada, uma vez que os resíduos comumente gerados são, os restos e fragmentos de rochas, conhecido como casqueiros, o plástico, papel e papelão, oriundo das embalagens dos insumos utilizados, óleo e graxa decorrente da manutenção dos teares, metálico, oriundo das lâminas gastas e peças substituídas, e o mais volumoso de todos, a lama abrasiva, envolve custos e patamares de desenvolvimento tecnológico (SILVA, 2011).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Materiais

#### a) Resíduo de Mármore

O resíduo de mármore utilizado é proveniente do Estado do Espírito Santo – Brasil, peneirado e caracterizado.

#### b) Pó de Mármore

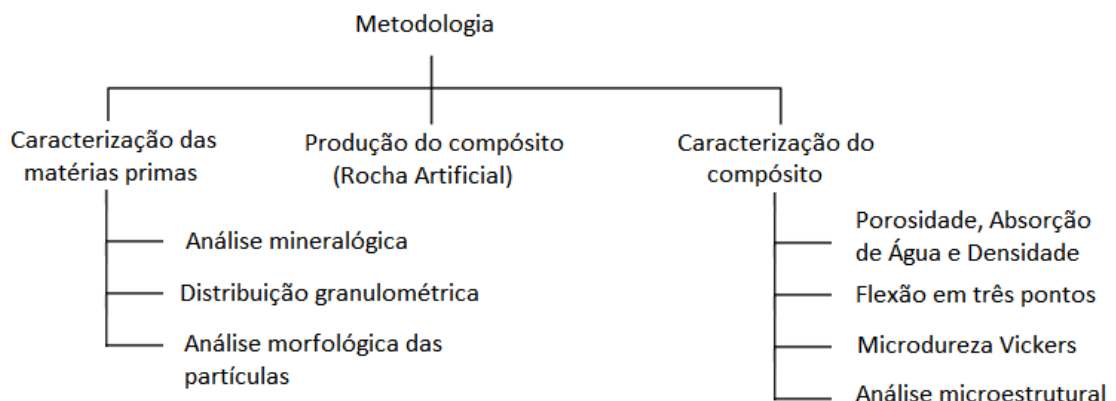
O pó de mármore utilizado para produção dos compósitos que foram utilizados como referência foi adquirido em loja comercial de rochas, moído em moinho de bolas e caracterizado.

#### c) Resina Poliéster

Utilizou-se uma resina poliéster -cristal 5061, fornecida pela Casa das Resinas. Para a cura da resina poliéster foi utilizado o catalizador MEK de 1 a 2% em massa/peso, conforme indicação do fornecedor da resina.

### 4.2. Métodos

O trabalho experimental foi dividido em três partes principais como mostrado na Figura 2, que são: a caracterização do resíduo e do pó de mármore, a produção do compósito (Rocha Artificial) com diferentes porcentagens de incorporação de carga (30, 50 e 70% de carga em peso) e a caracterização dos compósitos obtidos.



**Figura 2** – Fluxograma da metodologia

## **4.2.1. Caracterização da Matéria Prima**

### **4.2.1.1. Análise mineralógica**

O resíduo foi caracterizado quanto à composição mineralógica por difração de raios-X (DRX) em equipamento SHIMADZU XRD-7000, objetivando identificar a composição e as respectivas estruturas cristalinas dos compostos. Foram adotadas as seguintes condições de análise: velocidade de escaneamento = 2°/min e varredura  $\theta$  a  $2\theta = 3$  a 85°. As fases cristalinas presentes foram identificadas em caráter qualitativo, segundo os arquivos de dados JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*).

### **4.2.1.2. Distribuição granulométrica**

Para avaliação da distribuição de tamanho das partículas do resíduo e do pó de mármore utilizou-se a granulometria a laser no equipamento Cilas, modelo 1090.

### **4.2.1.3. Análise morfológica das partículas**

Realizou-se análise morfológica por microscópio eletrônico de varredura (MEV), da marca SHIMADZU e modelo SSX-550. Para o ensaio, foi preparada uma solução com o resíduo de mármore em água com dispersante. Após agitação da solução por 24 horas, uma gota desta foi depositada no porta amostra e secado em estufa. O mesmo procedimento foi realizado com o pó de mármore.

## **4.2.2. Produção do Compósito (Rocha Artificial)**

O compósito foi obtido através da mistura de resina poliéster insaturada com diferentes porcentagens de carga mineral (mármore) conforme mostrado na Tabela 1, os corpos de prova foram feitos em triplicata e separados por grupos de acordo com formulação, para cura do compósito foi adicionado de 1 a 2% de catalisador conforme especificado pelo fabricante.

A mistura foi homogeneizada e vazada em moldes metálicos. Os moldes foram colocados em mesa vibratória por 2 minutos para eliminação das bolhas de ar formadas.

A cura foi realizada em temperatura ambiente 25°C durante 72 horas. Os corpos de prova foram desenformados, cortados e lixados.

Para comparação foi preparado o compósito com os mesmos percentuais de cargas, contudo, substituindo o resíduo de mármore pelo pó de mármore processado em laboratório.

**Tabela 1** - Formulação os corpos de prova

<b>Identificação</b>	<b>Porcentagem carga</b>	<b>Resina Poliéster (g)</b>	<b>Mármore (g) / Resíduo ou Processado</b>
<b>R-G1</b>	30%	90,00	38,70
<b>R-G2</b>	50%	90,00	90,00
<b>R-G3</b>	70%	90,00	210,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.2.3. Caracterização do Compósito (Rocha Artificial)

Para os compósitos (rocha artificial) foram avaliadas as propriedades mecânicas e físicas através de testes padronizados, como: densidade, absorção de água, porosidade aparente, resistência à flexão e microdureza Vickers.

##### 4.2.3.1. Porosidade, Absorção de Água e Densidade Aparente

A determinação da porosidade, da densidade aparente e da absorção de água foi realizada utilizando a norma ASTM C373-88. Foram utilizados 6 corpos de prova para cada formulação produzida, separados em grupos, como mostrado na Tabela 2, para obtenção da média e desvio padrão dos resultados obtidos.

**Tabela 2** – Formulação para grupos de compósitos produzidos com resíduo e pó de mármore

<b>Material</b>	<b>Formulação</b>	<b>Simbologia</b>
<b>Resíduo de Mármore</b>	70% Resíduo e 30% de Resina Poliéster	R-G1
	50% Resíduo e 50% de Resina Poliéster	R-G2
	30% Resíduo e 70% de Resina Poliéster	R-G3
<b>Pó de Mármore</b>	70% Pó e 30% de Resina Poliéster	P-G1
	50% Pó e 50% de Resina Poliéster	P-G2
	30% Pó e 70% de Resina Poliéster	P-G3

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os corpos de prova foram fervidos por 5h a 150° em água, permanecendo após esse tempo imersos em água por 24h. Posteriormente, cada corpo de prova é pesado utilizando-se o aparato de Arquimedes e balança comum.

A porosidade aparente, a absorção de água e densidade aparente, foram calculadas respectivamente pelas equações 1, 2 e 3 abaixo:

$$P = (M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}}) / (M_{\text{sat}} - M_{\text{sub}}) \times 100 \quad (\text{eq.01})$$

$$A = (M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}}) / (M_{\text{sec}}) \times 100 \quad (\text{eq.02})$$

$$D = M_{\text{sec}} / (M_{\text{sat}} - M_{\text{sub}}) \times 100 \quad (\text{eq.03})$$

Onde:

A= Absorção de água;

P=Porosidade aparente;

D=Densidade aparente;

$M_{\text{sat}}$ = Massa saturada;

$M_{\text{sec}}$  = Massa seca;

$M_{\text{sub}}$ = Massa submersa.

#### 4.2.3.2. Ensaio de Flexão em três pontos

O ensaio foi realizado na máquina de ensaios universal Autograph AG-X 10kN da marca Shimadzu, com velocidade de 6mm/min. Foram utilizados 3 amostras para cada formulação do compósito produzido com resíduo e com pó de mármore, com dimensões de (80x30x20)mm aproximadamente. Para realização para determinar o limite de resistência à flexão foi utilizada a equação:

$$\sigma = 3PL/2bd^2 \quad (\text{eq. 04})$$

Onde:

$\sigma$  = tensão de flexão (Mpa);



$p$  = máxima carga aplicada (N);

$L$  = distância entre os apoios (mm);

$b$  = largura do CP (mm);

$d$  = espessura do CP (mm);

#### **4.2.3.3. Ensaio de Microdureza Vickers**

A dureza dos materiais foi determinada por meio da utilização de um microdurômetro Shimadzu Modelo HMV 2T. Foram realizados 10 testes em cada amostra, com carga de 300g e tempo de aplicação da carga de 15s, de forma a avaliar de maneira geral a estrutura das amostras.

#### **4.2.3.4. Análise microestrutura do compósito**

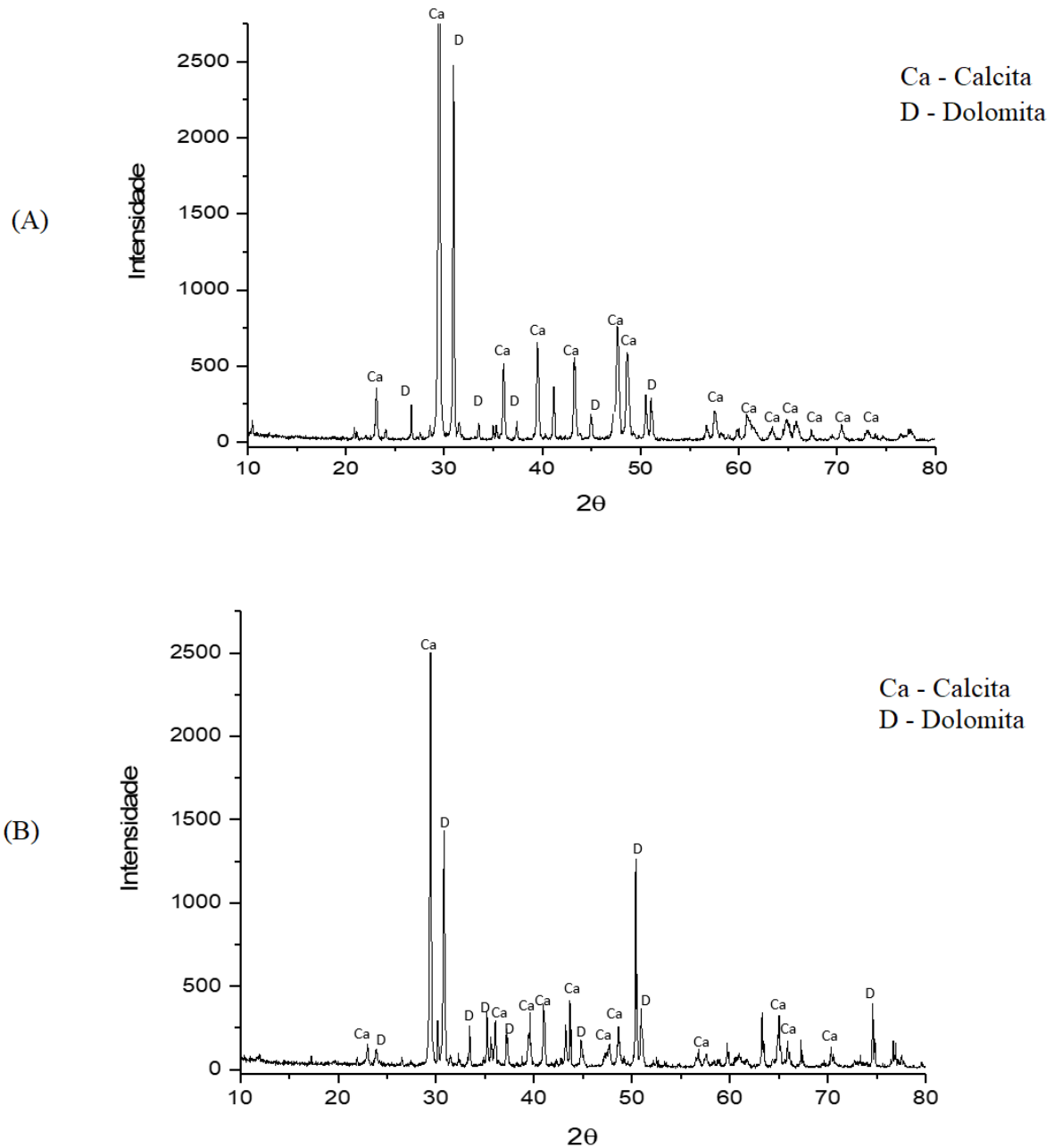
Realizou-se análise da microestrutura por microscópio eletrônico de varredura (MEV), no equipamento da marca SHIMADZU e modelo SSX-550, após a metalização da superfície das amostras com ouro.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Propriedades das Matérias Primas

#### 5.1.1. Análise mineralógica

A Figura 3 mostra os difratogramas do resíduo e do pó de mármore respectivamente. Foram identificadas as fases calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita ( $(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$ ) como fases principais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 3** - Difratograma de raios-X, em (A) pó de mármore e (B) resíduo de mármore.

### 5.1.2. Distribuição Granulométrica

A Tabela 3 mostra os diâmetros médios obtidos para o resíduo e para o pó de mármore. Na Figura 4 são mostradas as curvas de distribuição granulométrica do resíduo e do pó de mármore, onde o tamanho médio das partículas é de 72,31  $\mu\text{m}$  para o resíduo e de 18,08  $\mu\text{m}$  para o pó de mármore.

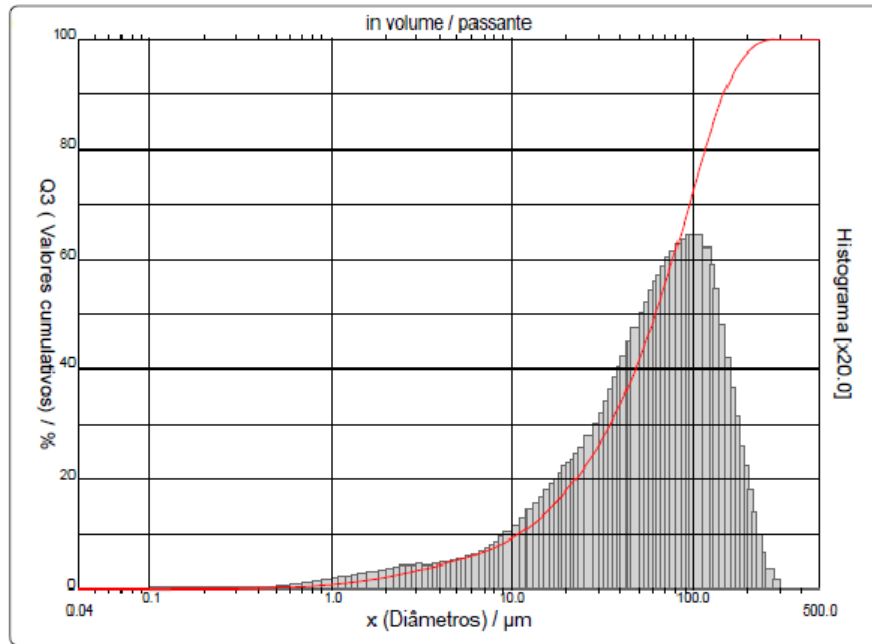
**Tabela 3** - Diâmetros equivalentes para o resíduo e pó de mármore

	<b>Media (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>10</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>50</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>d<sub>90</sub> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<b>Resíduo de mármore</b>	72,31	10,88	61,83	148,01
<b>Pó de mármore</b>	18,08	2,36	15,60	37,41

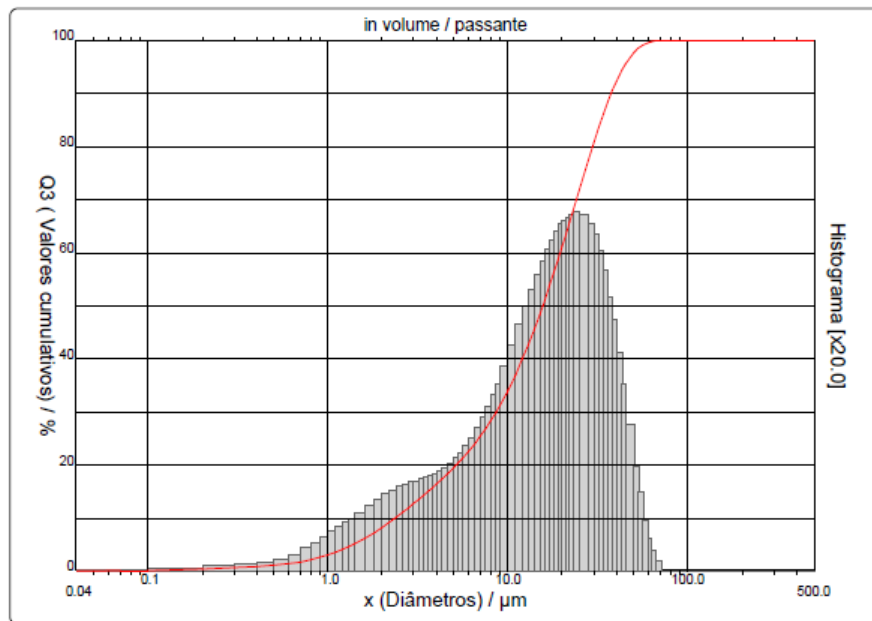
Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores obtidos mostram, para o resíduo de mármore, uma distribuição granulométrica larga com que 50% das partículas tem diâmetro menor que 61,83 $\mu\text{m}$ , indicando potencial para produção de um compósito com elevado empacotamento. Já o pó de mármore a apresenta distribuição granulométrica larga com partículas mais finas, onde 50% das partículas tem diâmetro menor que 15,60 $\mu\text{m}$ , o que proporcionando uma maior resistência mecânica já que permite uma interface mais eficiente entre carga/matriz.

(A)



(B)

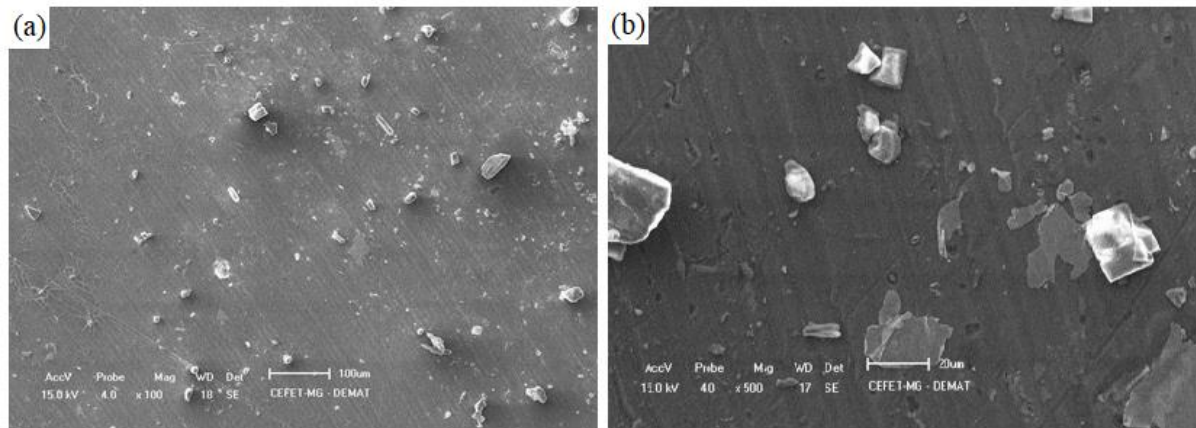


Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 4** - Curvas de distribuição granulométrica (A) do resíduo e (B) do pó de mármore

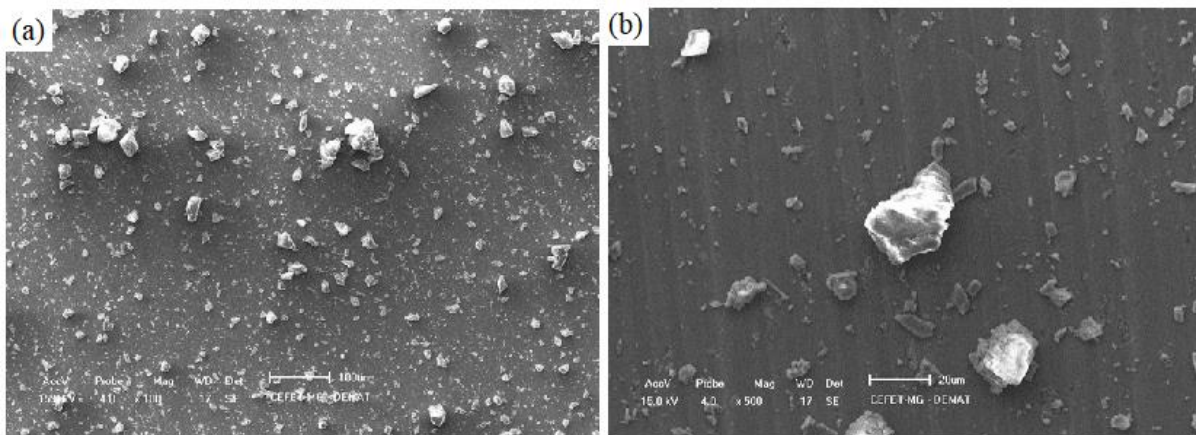
### 5.1.3. Análise morfológica das partículas

As micrografias obtidas por MEV do resíduo e do pó de mármore podem ser observadas nas Figuras 5 e 6. Nota-se que o resíduo apresenta partículas maiores, de acordo com a distribuição granulométrica. O pó processado, puro, apresenta algumas partículas maiores comparadas ao pó de mármore industrializado, mas grande quantidade de partículas pequenas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 5** - Micrografia de MEV do resíduo de mármore, (a) aumento de 100x; (b) aumento de 500x

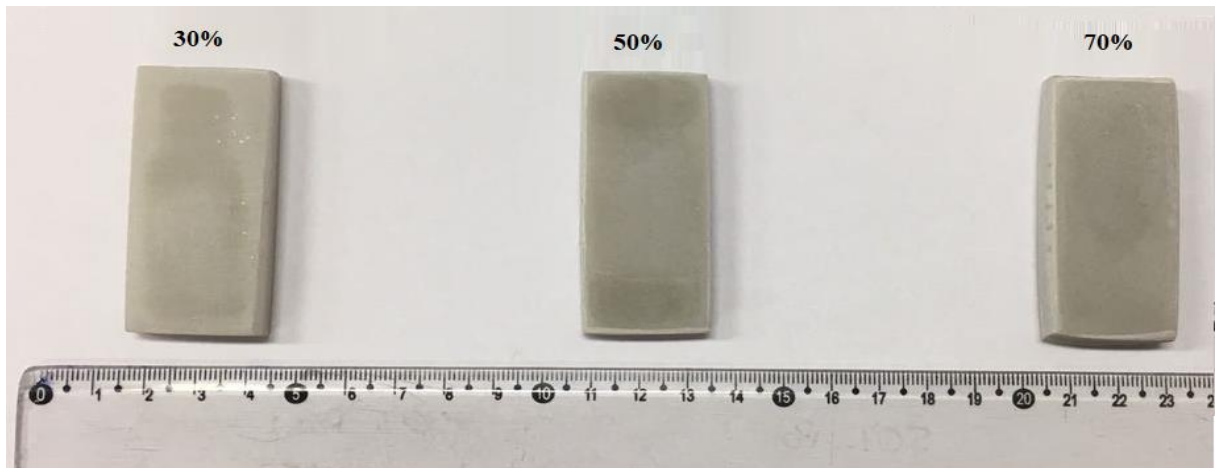


Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 6** - Micrografia de MEV do pó de mármore, (a) aumento de 100x; (b) aumento de 500x

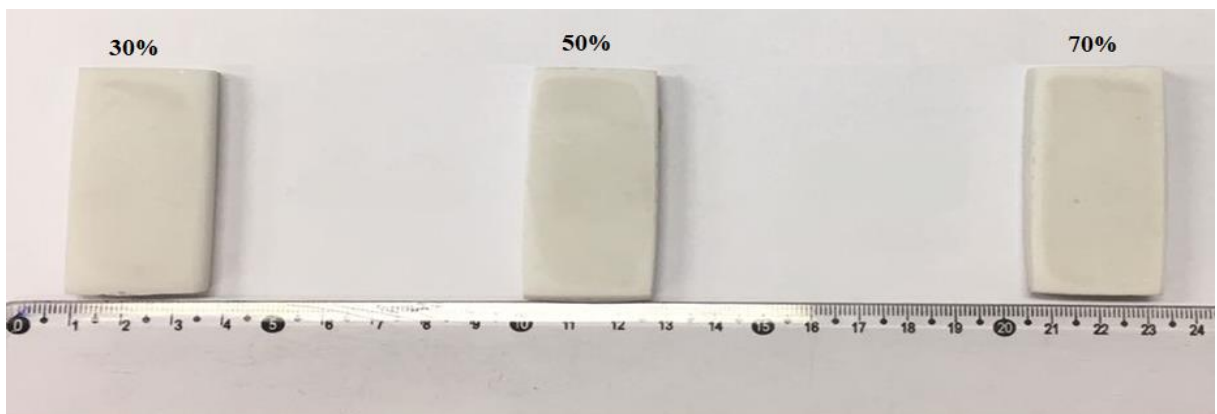
## 5.2. Propriedades do Compósito (Rocha artificial)

As Figuras 7 e 8 mostram os corpos de prova do compósito produzido com pó e resíduo de mármore respectivamente. Visualmente os corpos de prova produzidos apresentam coloração e aspectos semelhantes ao mármore natural.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 7** - Corpos de prova do compósito produzidos com o resíduo de mármore. Na figura, as porcentagens indicam a quantidade de carga mineral.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 8** - Corpos de prova do compósito produzidos com pó de mármore processado. Na figura, as porcentagens indicam a quantidade de carga mineral.

### 5.2.1. Propriedades físicas

A Tabela 4 mostra os valores médios obtidos nos ensaios para determinação das propriedades físicas dos compósitos produzidos com o resíduo de mármore e como comparativo os valores obtidos para o compósito produzido com o pó de mármore.

**Tabela 4** - Valores das propriedades físicas para os compósitos produzidos com resíduo de mármore e do compósito com pó de mármore

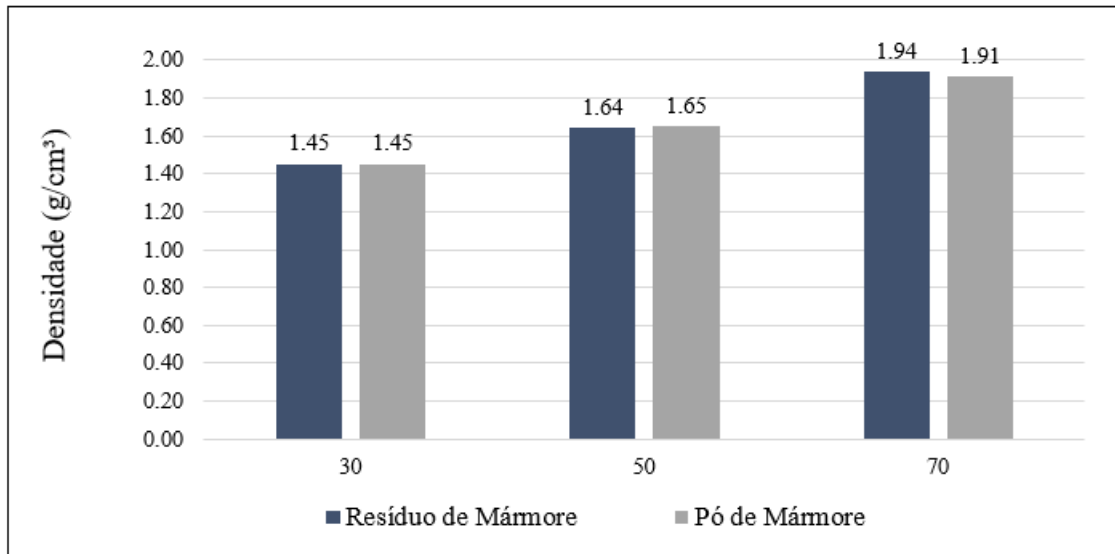
<b>Material</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Absorção de água (%)</b>	<b>Porosidade Aparente (%)</b>
<b>Resíduo de Mármore</b>	R-G1	1,45 ± 0,01	2,69 ± 1,03	3,88 ± 1,45
	R-G2	1,64 ± 0,12	1,86 ± 0,26	3,05 ± 0,37
	R-G3	1,94 ± 0,15	1,15 ± 0,24	2,21 ± 0,46
<b>Pó de Mármore</b>	P-G1	1,45 ± 0,01	1,91 ± 0,69	2,76 ± 0,38
	P-G2	1,65 ± 0,02	1,68 ± 0,35	2,78 ± 0,60
	P-G3	1,91 ± 0,01	1,25 ± 0,31	2,39 ± 0,57

Fonte: Elaborada pelo autor.

A densidade aparente do compósito foi aumentada conforme a adição da carga no compósito, indicando o efeito da carga na matriz polimérica. Considerando que a densidade aparente da pedra de mármore está entre 2,5 a 3,0g/cm<sup>3</sup>, o compósito produzido seria mais leve.

Fabricantes de rocha artificial indicam valores de densidade entre 2,40 a 2,50g/cm<sup>3</sup> para o mármore artificial (ALICANTE, 2017). Costa (2017), apresentou valores variando de 1,479 a 2,043g/cm<sup>3</sup>, mostrando que os valores encontrados para os compósitos produzidos estão compatíveis com os de outros trabalhos.

O gráfico da Figura 9 mostra os valores de densidade obtidos para os compósitos produzidos. As densidades para as amostras com o resíduo de mármore apresentaram valores muito próximos aos valores obtidos para as amostras com pó de mármore. Sugere-se aqui que a distribuição granulométrica larga levou a um elevado empacotamento das partículas e densidade.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 9** - Comparativo do comportamento da densidade aparente para os compósitos com resíduo e pó mármore

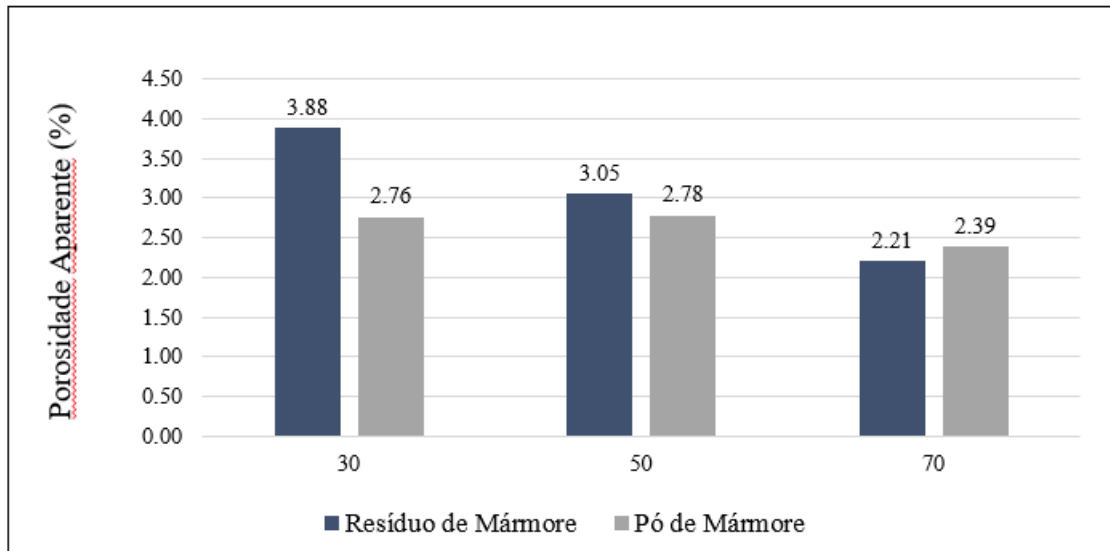
Com relação ao valor de absorção de água, observou-se uma diminuição dos valores a medida que a porcentagem de carga foi aumentada devido ao maior volume de partículas. Novamente os valores foram próximos para os dois compósitos sugerindo que o resíduo de mármore se apresenta adequado para produção da rocha artificial. Os valores encontrados estão superiores ao recomendado para o uso de mármore calcítico natural de acordo com a norma ASTM C503-99 cujo valor de absorção deve ser menor ou igual a 0,20%, possibilitando seu uso. Fabricantes de mármore artificial informam valores de absorção de água na faixa de 0,09% a 0,40% (ALICANTE, 2017).

Costa (2017) utilizando o mesmo tipo de resina poliéster cristal, mudando as variáveis de produção apresentou valor médio de  $2,14 \pm 0,39\%$ . SILVA (2016), mostrou em seu trabalho o valor médio de  $0,30 + 0,03\%$ , menor do que o encontrado devido a aplicação de vácuo, seguida de tratamento térmico, contribuindo para maior compactação, menor poroso, e assim, menor absorção de água.

A mesma relação encontrada para a absorção de água foi observada para a porosidade. A Figura 10 mostra os valores obtidos para as formulações dos compósitos produzidos. O valor encontrado assim com a absorção de água está acima do descrito por outros autores. SILVA (2016) apresentou valor médio de  $0,11 \pm 0,03\%$ . RIBEIRO (2011) utilizando a tecnologia de



RTM (processo onde ocorre a injeção de resina líquida em uma matriz fechada), não obteve uma adesão satisfatória das partículas de mármore a resina poliéster, encontrando um valor de porosidade mais elevado, na média de  $8,28 \pm 0,75\%$ , ele indica que a porosidade do material artificial está contida em grande parte na fase matriz.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 10** - Porosidade aparente para os compósitos com resíduo e pó mármore

### 5.2.2. Ensaio de Flexão

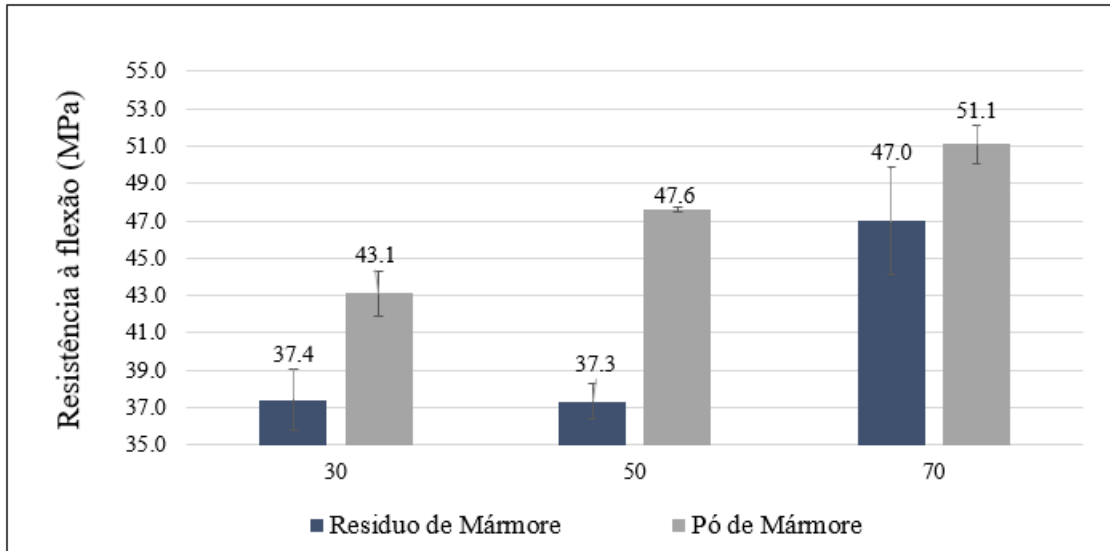
A Tabela 5 mostra os valores de resistência à flexão encontrada para as formulações do compósito produzido com o resíduo e com o pó de mármore e da resina polimérica.

**Tabela 5** - Valores obtidos no ensaio de resistência à flexão (MPa) em três pontos para os corpos de prova de resina polimérica, resíduo e pó de mármore

	30%	50%	70%
<b>Resíduo de Mármore</b>	$37,4 \pm 3,3$	$37,3 \pm 1,9$	$47,0 \pm 5,8$
<b>Pó de Mármore</b>	$43,1 \pm 2,4$	$47,6 \pm 0,3$	$51,1 \pm 2,1$

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Figura 11 mostra o gráfico comparativos dos valores encontrados para os compósitos com resíduo e pó mármore, os valores se mostraram próximos para cada amostra, sendo que para as amostras com 70% a diferença entre o resíduo e o pó são reduzidas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 11** - Comparativo do comportamento da resistência a flexão para os compósitos com resíduo e pó mármore

O resultado do teste de resistência à flexão em três pontos apresenta a mesma tendência para o compósito produzido com o resíduo e com o pó de mármore. O aumento da carga mineral aumenta a resistência mecânica do compósito.

Costa (2017), em seu trabalho utilizando resíduos de mármore e resina poliéster, variando a porcentagem de carga e obteve como resultado médio de resistência à flexão  $31,8 \pm 2,5$ MPa, valor próximo ao obtido nesta pesquisa. A norma ASTM C503-99, para a aplicação do mármore natural, especifica um valor mínimo de 7MPa, estando, portanto, o valor encontrado dentro do especificado, indicando que a rocha artificial produzida pode ser utilizada em aplicações como o mármore natural.

### 5.2.3. Teste de Microdureza Vickers (HV)

O teste de microdureza Vickers representa um parâmetro que expressa a resistência à deformação do material de encontro a uma força concentrada em sua superfície. Determina-se então o Número Vickers (HV) pela razão entre a carga (kgf) e a área superficial da impressão ( $\text{mm}^2$ ). A Tabela 6 mostra os valores médios  $\pm$  erro padrão para cada formulação do compósito produzido.

**Tabela 6** - Valores obtidos nos ensaios de microdureza para os corpos de prova do compósito com resíduo e pó de mármore

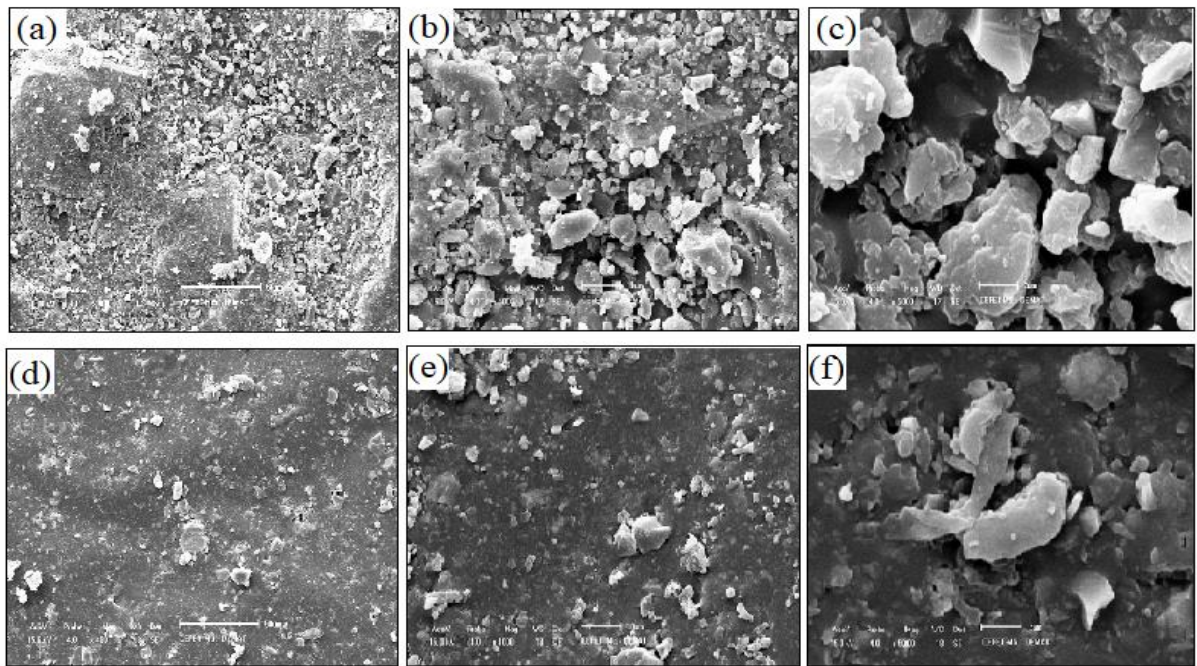
<b>Microdureza Vickers (HV)</b>			
	<b>30%</b>	<b>50%</b>	<b>70%</b>
<b>Resíduo de Mármore</b>	11,23 ± 4,31	23,88 ± 3,78	33,48 ± 2,29
<b>Pó de Mármore</b>	10,94 ± 2,38	18,13 ± 1,95	31,74 ± 1,53

Fonte: Elaborada pelo autor.

A incorporação de partículas de mármore à resina poliéster aumenta a dureza do compósito. Os testes de caracterização mecânica mostram o aumento dessas propriedades com o aumento da carga. Apesar de próximos, o valor de dureza para o resíduo de mármore em todas as proporções é maior do que para o pó de mármore, isso ocorre pois o resíduo contém dolomita em sua composição, que possui maior dureza, entre 3,5 a 4,0 escala Mohs, enquanto a calcita que é predominando no pó de mármore utilizado possui dureza 3 (escala Mohs) (SAMPAIO, 2005).

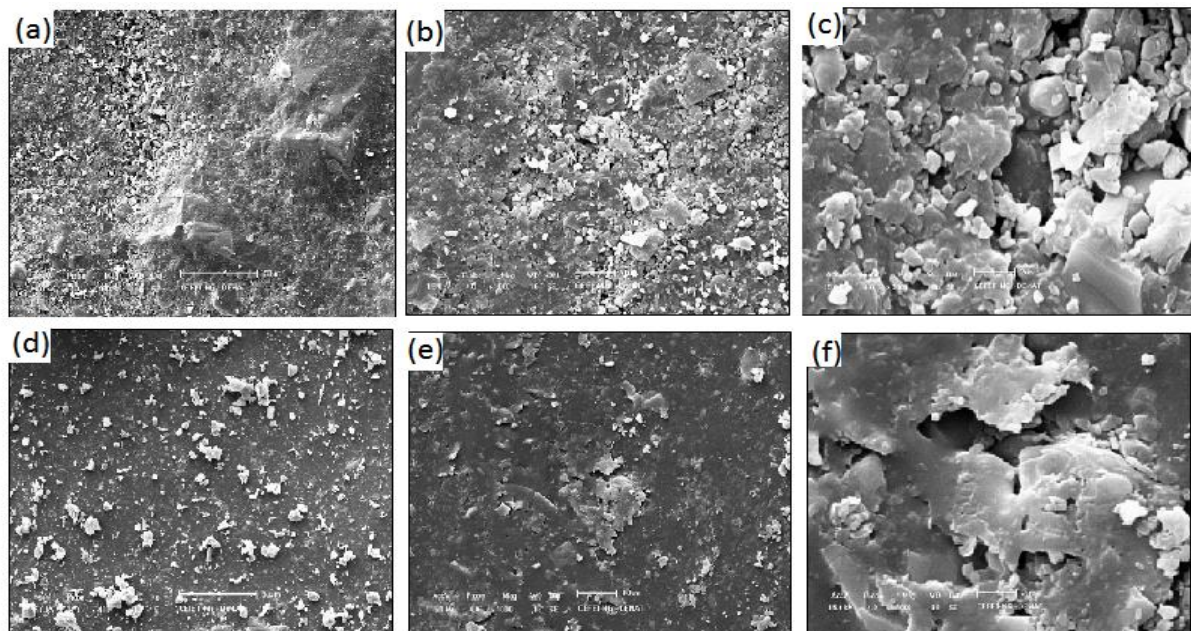
#### **5.2.4. Microestrutura do compósito produzido**

As micrografias dos compósitos produzidos com resíduo e com pó de mármore são apresentadas nas Figuras 12, 13 e 14 de acordo com as formulações (30, 50 e 70%) respectivamente.



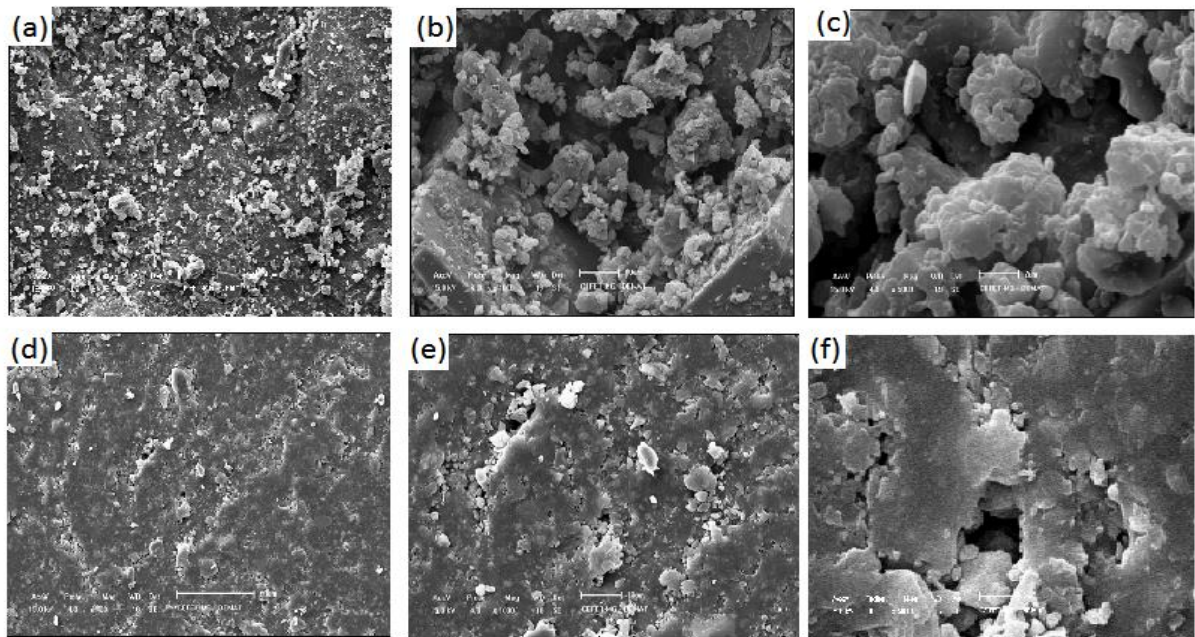
Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 12** - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 30% de resíduo de mármore com os aumentos de 400x (a), 1000x (b) e 5000x (c) e do compósito com 30% de pó de mármore com os aumentos de 400x (d), 1000x (e) e 5000x (f)



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 13** - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 50% de resíduo de mármore com os aumentos de 400x (a), 1000x (b) e 5000x (c) e do compósito com 50% de pó de mármore com os aumentos de 400x (d), 1000x (e) e 5000x (f)



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 14** - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 70% de resíduo de mármore com os aumentos de 400x (a), 1000x (b) e 5000x (c) e do compósito com 70% de pó de mármore com os aumentos de 400x (d), 1000x (e) e 5000x (f)

A partir das imagens podemos comprovar a existência de vazios entre as partículas e a matriz polimérica, que diminuem com o aumento da carga corroborando com os valores de porosidade e absorção de água obtidos.

As imagens obtidas com aumento de 1000 x mostram uma boa interface entre as partículas e a matriz polimérica coerente com os valores de resistência mecânica observados.

## 6. CONCLUSÕES

Foi produzido e caracterizado o compósito com matriz polimérica reforçado com partículas.

Os resultados de caracterização obtidos para o pó e resíduo de mármore não mostraram impurezas nos testes de difração de raios X, sendo compostos basicamente por carbonato de cálcio. A análise do tamanho de partículas mostrou uma granulométrica larga, favorável ao processo de produção do compósito.

A incorporação das partículas de mármore em matriz de poliestireno resultou no aumento da resistência a flexão dos compósitos produzidos, da microdureza e densidade e na diminuição da porosidade e absorção de água mostrando seu potencial para aplicação na produção de rocha artificial.

O fato da presença das partículas de mármore ter melhorado as propriedades, tanto físicas quanto mecânicas, dos compósitos realça a sua capacidade de não deteriorar a matriz polimérica permitindo a obtenção da rocha artificial de mármore e sua aplicação em revestimentos e ornamentação.

O aumento da resistência e as imagens obtidas por MEV sugerem eficiência nas interações entre as partículas de mármore e a matriz permitindo sua aplicação de acordo com a norma ASTM C503-99.

## 7. REFERENCIAS

ABIROCHAS. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais no Período Janeiro-Setembro de 2017.** Disponível em: <[http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/18/4240/Exp\\_imp\\_set\\_2017.pdf](http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/18/4240/Exp_imp_set_2017.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2017.

ABIROCHAS. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais no 1º Semestre de 2017.** Disponível em: <[http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/4195/Informe\\_03\\_2017.pdf](http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/4195/Informe_03_2017.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2017.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012:2003 Rochas para revestimentos de edificações – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2003.

ALICANTE. **Aglostone: mármore composto.** Disponível em: <<http://www.alicante.com.br/aglostone-2/>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem.** Disponível em: <<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem.html>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

CALLISTER, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução**, 8º edição, 2012.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. de P. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos.** São Paulo: ABIROCHAS, 2009. 118 p.

COOPMACO. Cooperativismo em Materiais Compósitos. **Mármore Sintético Composites.** Disponível em: <<http://coopmaco.com.br/wp-content/uploads/2014/02/Marmore-sintetico.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

COSTA, L.C.F. **Obtenção e estudo de um compósito de matriz de poliéster e carga de resíduo de mármore.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2017.

DIPROFER. **Resinas Poliéster**. Disponível em: <[http://www.diprofiber.com.br/diprofiber-produto-32-29-resinas\\_poli%EF%BF%BDster](http://www.diprofiber.com.br/diprofiber-produto-32-29-resinas_poli%EF%BF%BDster)>. Acesso em: 25 ago. 2017.

Guia técnico ambiental da indústria de rochas ornamentais / Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. --- Belo Horizonte: FEAM; FIEMG, 2015.

LEE, M.Y.; Ko, C.H.; Chang, F.C.; Lo, S.L.; Lin, J.D.; Shan, M.Y.; Lee, J.C. **Artificial stone slab production using waste glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction - Cement & Concrete Composites**. Vol. 30, pp. 583-587. 2008

LIMA, A. B. T., **Aplicações de Cargas Minerais em polímeros**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil). 2007.

LION, CA.P. **Desenvolvimento e caracterização de um compósito a partir da borra da piaçava para construção da parábola fogão solar a concentração**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2013.

MOLINARI, E.J. **Reutilização dos resíduos de rochas naturais para o desenvolvimento de compósitos poliméricos com matriz termofixa na manufatura de pedras industriais**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2007.

OLIVEIRA, J.F.S. **Estudo da influência da configuração em compósito poliméricos híbridos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2007.

PEDRA ARTIFICIAL. Disponível em: <[www.pedraartificial.com.br](http://www.pedraartificial.com.br)>. Acesso em: 25 ago. 2017.

PEREIRA, F.R. **Valorização de resíduos industriais como fonte de alternativa mineral: composições cerâmicas e cimentíceas**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade de Aveiro, Portugal. 2006.

RIBEIRO, C.E.G. **Produção de rocha artificial utilizando resíduo da indústria de mármore em matriz poliéster**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos



Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro - RJ, 2011.

ROCHA, J.C. **Processo de obtenção de material compósito a base de resinas e resíduos de rochas ornamentais**. Patente 1004301-2 A2. INPI. 2010.

SANTOS, E. A. **Avaliação mecânica e microestrutural de compósitos de matriz de poliéster com adição de cargas minerais e resíduos industriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal – RN, 2007.

SAMPAIO, J. A. **Calcário e Dolomito**. In: ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005. p. 327-350. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/aprominerais/reste/livros/16-agrominerais-calcario-dolomito.pdf>>. >Acesso em: 09 nov. 2017

SILVA, F.S. **Desenvolvimento e caracterização de um mármore artificial produzido a partir do aproveitamento do resíduo de mármore calcítico e resina epoxídica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Campos dos Gotacazes. Rio de Janeiro – RJ, 2016.

SILVA, J.F.P. **Reciclagem de resíduos sólidos**. (2007). Disponível em: <<http://br.monografias.com/trabalhos2/reciclagem-residuos/reciclagem-residuos.shtml>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

SILVA, C.R.R. **Obtenção, caracterização e viabilidade de utilização de um compósito com matriz de resina poliéster e resíduos originados da extração do óleo de dendê**. Tese (Pós-graduação em engenharia mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal – RN, 2015.

SILVA, A.A.A. **Gestão de resíduos na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para lama abrasiva**. In: VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, pp. 1-19, Rio de Janeiro, ago. 2011.

SMITH, W.F. **Fundamentos de engenharia e ciências dos materiais**. 5 ed. Porto Alegre: McGrawHill, 5a ed., 2012.