

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS DE SOUZA MARTINS

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA NA FABRICAÇÃO DE UM COMPÓSITO
DE REFORÇO DE RESÍDUOS DE MÁRMORE**

NATAL – RN

2020

MATHEUS DE SOUZA MARTINS

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA NA FABRICAÇÃO DE UM COMPÓSITO DE
REFORÇO DE RESÍDUOS DE MÁRMORE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Tomás Barros Vasconcelos.

NATAL – RN

2020

MATHEUS DE SOUZA MARTINS

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE RESINA NA FABRICAÇÃO DE UM COMPÓSITO DE
REFORÇO DE RESÍDUOS DE MÁRMORE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI – RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Tomás Barros Vasconcelos
Orientador

Prof. Msc. Leavlam Rodrigues de Lima
Avaliador Interno

Prof. Msc. Lucy Kheyler Maciel de Mendonça
Avaliador externo

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser concluído sem a ajuda de diversas pessoas as quais presto minha homenagem:

Primeiramente a Deus que me deu força e saúde para superar todas as dificuldades.

Ao meu orientador, Prof. Msc. Tomás, por sua disponibilidade para tirar minhas dúvidas, pelas correções e incentivos.

A minha família, pelo amor, incentivo, apoio incondicional, ajuda nos momentos mais difíceis e por me consolarem nas decepções

Ao meu primo Pedro Diógenes, por disponibilizar a coleta dos resíduos de mármore e granito na marmoraria LTDA.

A Lianny Coringa, por me apoiar sempre nos momentos difíceis, levantar minha cabeça para não desistir e me ajudar nas correções de português.

A Rafael Castro, por me ajudar nas construções de tabelas e gráficos.

E a todos que fizeram parte da minha formação direta ou indiretamente, amigos, professores, técnicos e funcionários, o meu muito obrigado.

RESUMO

Um dos grandes problemas enfrentados no século atual são a economia e o meio ambiente, onde o grande impasse é fazer que ambos caminhem para um único lado positivo. Com isso, ao idealizar este trabalho, foi observado um enorme desperdício de material nas marmorarias que conseqüentemente afetam o meio ambiente. O estudo, assim, tem por objetivo reutilizar resíduos de rochas ornamentais, especialmente os produzidos nas marmorarias, junto ao uso das resinas epóxi e poliéster para criação de um material alternativo no mercado, comparando a eficiência das duas resinas, beneficiando tanto a marmoraria que ao invés de jogar esses resíduos fora, passariam a vender e reutilizar o material preservando o meio ambiente, pois era onde grande parte desses resíduos eram descartados. O estudo foi feito através da comparação de quatro experimentos já realizados por autores diferentes, onde ambos reutilizam resíduos de mármore e granitos para a criação do compósito, onde cada procedimento é feito de forma divergente, desde da coleta do material até o processo de fabricação dos corpos de prova e através dessas comparações observar qual resina apresentará melhores resultados nos ensaios de resistência mecânica, analisando suas médias, dispersão de valores e desvios padrão. Obtendo como melhores resultados os experimentos realizados com resina epóxi e a medida que se aumenta a concentração de mármore e granitos em sua composição a resistência do material tende a cair, chegando a excelentes resultados na produção do material, provando assim a eficácia na utilização do compósito.

Palavras-chave: Resina. Resíduos. Compósito. Mármore. Sustentabilidade. Epóxi. Poliéster.

ABSTRACT

One of the great problems faced in the current century are having a solid economy together with a healthy environment, whereas the great impasse is to make both of them move towards a single positive side. Thus, when idealizing this work, it was observed a great waste of material in marble shops that consequently affect the environment. The study, therefore, aims to reuse ornamental stone residues, especially those produced in marble, along with the use of epoxy and polyester resins to create an alternative material on the market. The efficiency of the two resins was compared, benefiting both marble and its waste, which instead of been thrown away, it would be sold and reused preserving the environment, as this was where a large part of this waste was disposed of. The study was done by comparing four experiments already carried out by different authors, where both reuse marble and granite residues for the creation of the composite, where each procedure is done in a divergent way, from the collection of the material to the manufacturing process of the products. specimens and through these comparisons observe which resin will present better results in the tests of mechanical resistance, analyzing its averages, dispersion of values and standard deviations. Obtaining as best results the experiments carried out with epoxy resin and as the concentration of marble and granite in its composition increases, the resistance of the material tends to fall, reaching excellent results in the production of the material, thus proving the effectiveness in the use of the composite.

Keywords: Resin. Residues. Composite. Marble. Sustainability. Epoxy. Polyester.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lama gerada pelos resíduos das rochas ornamentais	17
Figura 2 – Material obtido após secagem na estufa	18
Figura 3 – Material obtido em forma de pó após destorroamento	18
Figura 4 – Peneiras utilizadas para realização do ensaio.....	19
Figura 5 – Tipos de reforços utilizados em compósito	21
Figura 6 – Principais propriedades avaliadas no desempenho de um compósito ...	21
Figura 7 – Matrizes utilizadas em compósitos	23
Figura 8 – Lama armazenada no pátio da empresa Marmoraria LTDA em Natal – RN	29
Figura 9 – Resíduos de rochas obtidos através de corte na marmoraria LTDA em Natal – RN.....	30
Figura 10 – Secções pultrudadas de éster vinílico reforçado com fibra de vidro na construção de um sistema de plataforma de ponte	34
Figura 11 – Máquina universal utilizada para os ensaios de tração e flexão.....	38
Figura 12 – Gráfico da variação da resistência média à tração em MPA (eixo y) dos ensaios de Costa em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo x).....	39
Figura 13 – Gráfico da variação da resistência média à flexão em MPA (eixo y) dos ensaios de Costa em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)	40
Figura 14 – Gráfico da variação da resistência média à tração em MPA (eixo y) dos ensaios de Gonçalves em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)	43
Figura 15 – Gráfico da variação da resistência média à flexão em MPA (eixo y) dos ensaios de Gonçalves em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)	44
Figura 16 – Resultados do ensaio de flexão em 3 pontos	45

Figura 17 – Gráfico da variação da resistência média à tração em MPA (eixo y) dos ensaios de Costa e Rodrigues em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)	46
Figura 18 – Gráfico das médias da resistência de tração em MPA de Costa e Rodrigues utilizando resina poliéster	47
Figura 19 – Gráfico do desvio padrão de resistência a tração em MPA de Costa e Rodrigues utilizando resina poliéster	47
Figura 20 – Gráfico das médias da resistência à flexão em MPA de Gonçalves e Ramiro utilizando resina epóxi	48
Figura 21 – Gráfico do desvio padrão de resistência à flexão em MPA de Gonçalves e Ramiro utilizando resina epóxi	49
Figura 22 – Gráfico das médias da resistência à tração em MPA de Costa, Gonçalves e Rodrigues	49
Figura 23 – Gráfico do desvio padrão da resistência à tração em MPA de Costa, Gonçalves e Rodrigues	50
Figura 24 – Gráfico das médias da resistência à flexão em MPA de Costa, Gonçalves e Ramiro	51
Figura 25 – Gráfico do desvio padrão da resistência à tração em MPA de Costa, Gonçalves e Ramiro	51
Figura 26 – Gráfico da variação da resistência média à tração em MPA (eixo Y) dos ensaios de Costa e Gonçalves em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)	52
Figura 27 – Gráfico da variação da resistência média à flexão em MPA (eixo Y) dos ensaios de Costa e Gonçalves em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos compósitos pela natureza dos materiais	22
Tabela 2 – Tipos de resina poliéster	24
Tabela 3 – Perfil da produção brasileira por tipo de rocha.....	27
Tabela 4 – Distribuição Estadual da Produção de Rochas Ornamentais no Brasil ...	27
Tabela 5 – Origem das perdas na cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais	28
Tabela 6 – Formulação de compósitos estudadas.....	37
Tabela 7 – Resultados dos ensaios de tração e flexão para cada resina e formulação do compósito	38
Tabela 8 – Proporções de resíduos utilizados	41
Tabela 9 – Resultados obtidos no ensaio de tração	41
Tabela 10 – Valores obtidos após o ensaio de tração	43
Tabela 11 – Valores obtidos após o ensaio de flexão.....	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 GERAL.....	15
2.2 ESPECÍFICOS.....	15
3 JUSTIFICATIVA	16
4 METODOLOGIA	17
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	17
4.2 ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS	19
4.3 RESULTADOS OBTIDOS NAS PESQUISAS	19
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
5.1 MATERIAIS COMPÓSITOS	20
5.1.1 Classificação dos materiais compósitos	20
5.1.2 Matrizes utilizadas na fabricação de compósitos poliméricos	23
5.1.3 Processo de fabricação dos materiais compósitos	24
5.2 HISTÓRICOS DO USO DE ROCHAS ORNAMENTAIS	25
5.2.1 Resíduos de rochas ornamentais no meio ambiente	27
5.3 HISTÓRICOS DE TRABALHOS ANTERIORES SOBRE ESTUDOS COM RESÍDUOS.....	31
5.4 COMPOSITOS REFORÇADOS COM RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	34

5.4.1	Secções de éster vinílico reforçado com fibra de vidro	34
5.4.2	Concreto reforçado com fibras	34
5.4.3	Compósitos termoplásticos com madeira	35
6	NBRs UTILIZADAS	36
6.1	ABNT NBR 248	36
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
7.1	RESULTADOS DE COMPOSITOS COM RESIDUOS DE MÁRMORE E RESINA POLIÉSTER	37
7.1.1	Costa, 2017	37
7.1.2	Rodrigues, 2016	40
7.2	RESULTADOS DE COMPOSITOS COM RESIDUOS DE MÁRMORE E RESINA EPÓXI	42
7.2.1	Gonçalves, 2015	42
7.2.2	Ramiro, 2018	45
7.3	COMPARATIVO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS	45
7.3.1	Comparativo dos experimentos realizados com resina poliéster	45
7.3.2	Comparativo dos experimentos realizados com resina epóxi	48
7.3.3	Comparativo dos experimentos realizados com resina epóxi e resina poliéster	49
8	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de materiais rochosos naturais para ornamentação e revestimento foi estimada em 9,2 Mt no ano de 2017, onde essa produção inclui principalmente mármore e granitos (ABIROCHAS, 2018).

Com o avanço da tecnologia, procura-se produzir materiais alternativos com um custo inferior e com propriedades melhores. Alinhado a essas características de produção, entra também o conceito de sustentabilidade, assim produzindo um material de forma que gere menos impacto ao meio ambiente, podendo ser recicláveis e até biodegradáveis. Com esse propósito, os compósitos têm sido utilizados em grande escala, principalmente aqueles em que possuem resíduos em sua composição devido a busca de minimizar os efeitos danosos da exposição desses resíduos na natureza (MOTA, 2016; APUD ANDRADE, 2017).

Com as diversidades de definições de materiais compósitos, a norma ASTM D3878-07, define os compósitos como uma substância formada por dois ou mais materiais, insolúveis entre si, combinados para desenvolver outro material.

De modo geral, o material compósito é formado pela mistura ou combinação de dois ou mais materiais, obtendo um material final com propriedades superiores comparadas às propriedades de outros materiais. A maioria dos materiais compósitos são formados de duas fases, a primeira denominada de matriz que é contínua e envolve a outra fase que é chamada de dispersa (reforço). Divide-se como matriz os grupos de metais, cerâmicos e polímeros, já os reforços são classificados como partículas, reforçados com fibras e estruturais (CALLISTER, 2012).

Sendo assim suas principais aplicações de compósitos utilizados na construção civil, como o concreto armado, telhas com utilização de fibra de vidro e a própria madeira, destacando o uso de buchas vegetais, tecido de algodão, cabelo humano, sabugo de milho, resíduos de mármore e granito, entre outros.

Portanto, o seguinte estudo procura alinhar a produção de um compósito de matriz polimérica, através do uso da resina poliéster e epóxi e seu reforço que pode variar de inúmeros materiais desde sabugo de milho, fibra de carbono, fibra de vidro e vários outros materiais, sendo usados então resíduos de pó de granito com a variação em sua granulometria, visando assim reaproveitar este material que em

grande maioria das vezes é desperdiçado por não ter uso e retido nos pátios das empresas, despertando assim o próprio interesse das empresas de mármore e granitos em vez de lançar esse rejeito no meio ambiente, aproveitá-lo comercializando.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

O seguinte estudo tem como objetivo comparar dois materiais compósitos com o aproveitamento dos resíduos de mármore e granito, sendo um deles utilizando a resina epóxi e o outro a resina poliéster, combinado aos resíduos de mármore e granito, assim verificando a influência que causará a variação das resinas em sua resistência mecânica.

2.2 ESPECÍFICOS

- 1) Analisar a evolução do uso dos resíduos de rochas ornamentais;
- 2) Analisar e comparar resultados obtidos em trabalhos anteriores de tração e flexão;
- 3) Propor a reutilização dos resíduos de mármore e granito;
- 4) Propor a comercialização e utilização de um material alternativo.

3 JUSTIFICATIVA

Promover a reutilização de resíduos de mármore e granito para fabricação de um composto de matriz resina epóxi ou poliéster, observando assim qual resina será mais eficaz e verificando a viabilidade econômica do material para sua comercialização.

4 METODOLOGIA

No seguinte estudo foram utilizadas as resinas epóxi e poliéster combinadas aos resíduos de rochas ornamentais, observando qual resina é mais resistente e eficaz nos ensaios de tração e flexão.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Na fabricação dos corpos de prova foi utilizada a resina poliéster e a epóxi que são facilmente obtida no mercado e foram utilizados os resíduos de rocha, onde o mesmo foi obtido da lama recolhida na marmoraria LTDA localizada em Natal-RN, sendo submetida a secagem através da estufa e purificação dos grãos através do peneiramento, visando remover quaisquer materiais impuros contidos nas rochas.

Figura 1 - Lama gerada pelos resíduos das rochas ornamentais



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Figura 2 - Material obtido após secagem na estufa



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Figura 3 - Material obtido em forma de pó após destorroamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

4.2 ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS

Esse ensaio tem por objetivo determinar a distribuição granulométrica do solo, ou seja, sua porcentagem em peso de acordo com o tamanho dos grãos. Esse ensaio é usado de acordo com a NBR 248 para definir que tipo de solo é em questão, seja arenoso, argiloso, entre outros. Podemos observar suas peneiras distribuídas na ordem de 2mm, 1,18mm, 0,85mm, 0,6mm, 0,425mm, 0,3mm, 0,250mm, 0,180mm, 0,150mm, 0,075mm e fundo. O ensaio que foi realizado com os resíduos de mármore teve como objetivo determinar a granulometria que será utilizada para fabricação dos corpos de prova.

Figura 4 - Peneiras utilizadas para realização do ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

4.3 RESULTADOS OBTIDOS NAS PESQUISAS

Os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos através de diversas pesquisas em diferentes trabalhos já realizados anteriormente por diferentes autores, assim comparando os resultados encontrados.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Os materiais compósitos são aqueles originados pela combinação de dois ou mais materiais com propriedades distintas, assim gerando outro material com propriedades particulares. Um desses elementos que constituem o compósito é chamado de matriz e os demais elementos são denominados de reforço.

Nos últimos tempos cada vez mais se tem estudado os materiais compósitos, onde a tendência é cada vez mais aumentar, devido à pertinente busca de materiais com propriedades melhores e não encontradas em diversos materiais. Ainda são necessários mais investigações e desenvolvimento deste material para poder assim melhor entender suas características, melhor maneira de obtê-lo e onde se deve melhor aplicar (OLIVEIRA 2015; APUD ANDRADE, 2017).

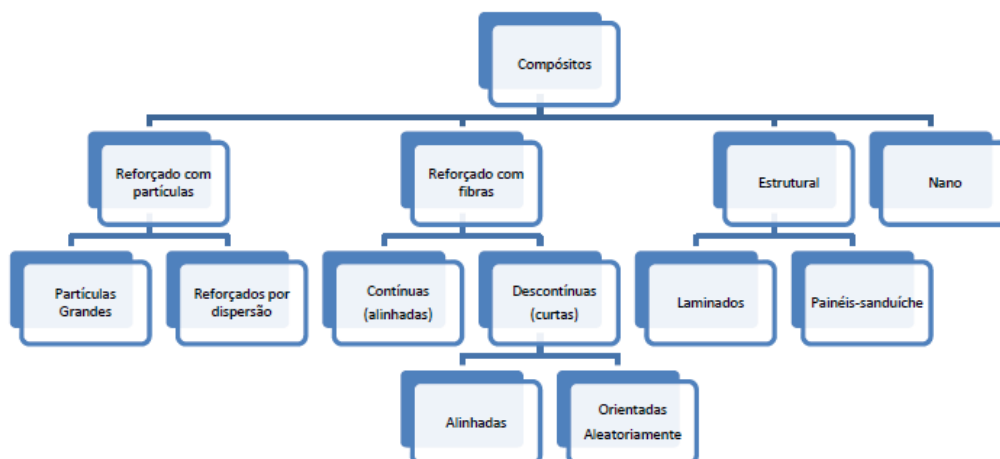
Assim, o uso de materiais compósitos tem crescido, principalmente aqueles que possuem resíduos em sua composição, pois o destino destes rejeitos tem se tornado uma grande preocupação na busca minimizar o impacto ambiental do descarte de forma inadequada destes resíduos (ANDRADE, 2017).

Os usos desses materiais combinados sempre estiveram presentes na história da humanidade, desde a época do antigo Egito através da fabricação de tijolos, assim também na idade média com a fabricação das espadas medievais e há registros também do uso de compósitos na própria bíblia no antigo testamento (Êxodo, 5.7), onde se tinha tijolos de barro reforçado com palha vegetal picotada e raízes eram usados por anciãos israelitas no Egito (GARCEZ, 2010; Apud MOTA, 2016).

5.1.1 Classificação dos materiais compósitos

Os compósitos poderão ser classificados de acordo com o tipo de matriz, tipo de reforço ou pela natureza dos materiais, sua geometria ou até a forma dos reforços presentes. Na figura a seguir pode-se observar a classificação dos compósitos de acordo com o tipo de reforço, seja ele por compósito reforçado com partículas, reforçado com fibras, compósitos estruturais e os nanocompósitos.

Figura 5 - Tipos de reforços utilizados em compósitos

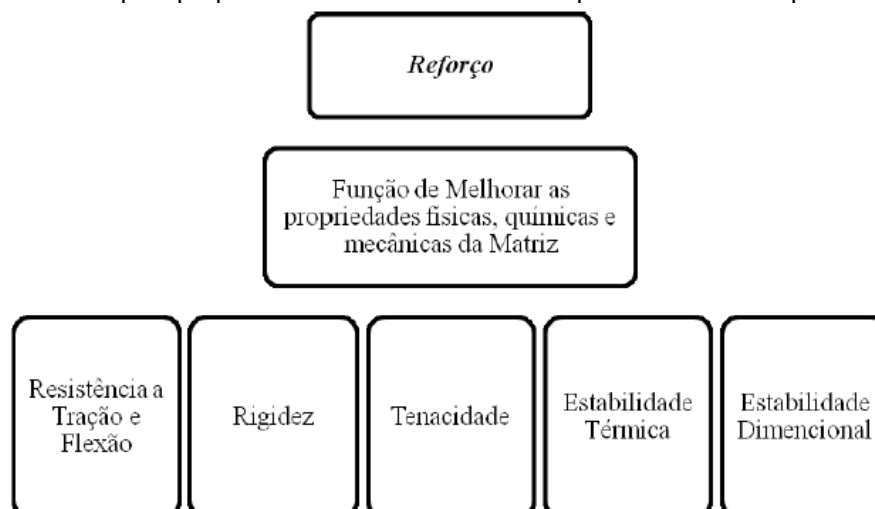


Fonte: CALLISTER (2014)

A função principal do reforço é basicamente melhorar as propriedades físicas, químicas e mecânicas do compósito e através das propriedades que foram avaliadas poderá comprovar os ganhos ou até perdas daquele reforço adicionado.

A figura a seguir apresenta um esquema resumido da função de um reforço e as principais propriedades avaliadas para verificação do desempenho do compósito.

Figura 6 - Principais propriedades avaliadas no desempenho de um compósito



Fonte: Adaptado de LION (2013); APUD GOMES (2015)

Os compósitos podem ser classificados pela natureza dos materiais que tem em sua composição e esses materiais estão divididos em duas categorias: materiais compósitos naturais e materiais compósitos sintéticos, onde na tabela abaixo apresenta de forma resumida exemplos de materiais compósitos (CALLISTER, 2012).

Tabela 1 - Classificação dos compósitos pela natureza dos materiais

Natureza dos Materiais		Exemplos
<i>Materiais Compósitos</i>	Naturais	- Madeiras - Ossos - Músculos
	Sintéticos	- Plástico reforçado - Concreto armado - Ligas metálicas

Fonte: CALLISTER (2014)

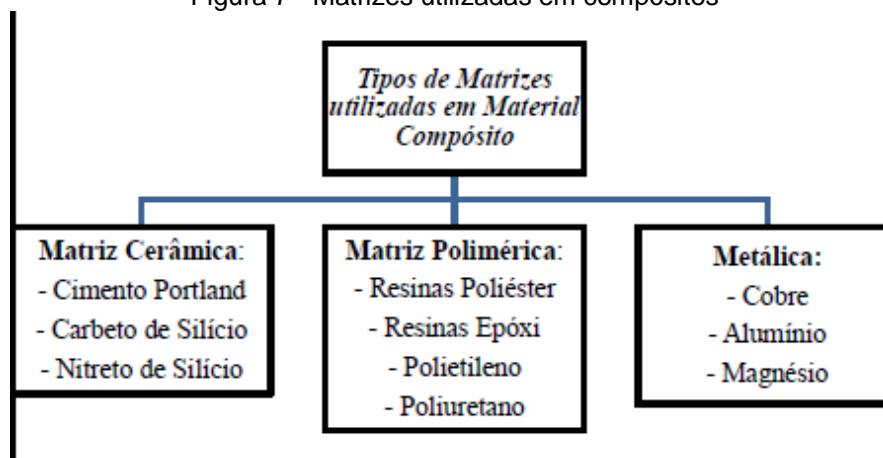
Os compósitos naturais têm sua origem na natureza, não havendo intervenção humana em sua produção. Os materiais compósitos denominados de sintéticos são produzidos através da atividade humana industrial (CALLISTER, 2014).

A matriz tem o poder de estrutura ao material compósito, de forma a preencher os espaços vazios que ficam entre os materiais reforços mantendo-os assim em suas respectivas posições (OLIVEIRA, 2017).

A função básica do elemento denominado de matriz em materiais compósitos é agir de modo que transfira ou distribua as cargas para os reforços através do cisalhamento, e outra função da matriz nos compósitos é proteger o reforço da abrasão, agentes químicos e físicos, agentes externos, a fim de evitar a degradação do reforço (LION, 2013; APUD GOMES, 2015).

As matrizes utilizadas em compósitos podem ser cerâmicas, metálicas e poliméricas como mostra a figura 7 abaixo.

Figura 7 - Matrizes utilizadas em compósitos



Fonte: CALLISTER (2012)

Sendo assim, fundamental para todo o processo de desenvolvimento a possibilidade de se obter materiais com propriedades mecânicas e físicas similares às que são encontradas no aço e na madeira (OLIVEIRA, 2017).

5.1.2 Matrizes utilizadas na fabricação de compósitos poliméricos

Duas classificações dos compósitos são consideradas como as mais importantes para aplicações em compósitos poliméricos: termoplástico, onde permitem ser moldados, conformados ou até reciclados em alta temperatura controlada e o termofixo ou termorrígido, onde não permitem modificações em sua forma ou reciclagem depois de curados ou solidificados (CALLISTER, 2012; APUD COSTA, 2017).

As matrizes termorrígidas poliméricas são as mais utilizadas no processamento de compósitos, devido ao fato de serem fáceis de processar, assim promovendo uma boa molhabilidade dos reforços/cargas, por apresentarem um bom balanço de propriedades, além disso, ainda estão disponíveis em uma grande variedade de tipos, bem como seu custo relativamente baixo (ANDRADE, 2017).

Poliéster é uma categoria de polímeros obtidos por meio de uma reação de condensação entre um poliálcool e um ácido policarboxílico. O tipo de ácido influencia nas propriedades finais das resinas poliésteres ortofálticas, isoftálticas e tereftálticas (GOMES, 2015).

As resinas poliéster apresentam como principal vantagem a sua estabilidade dimensional, resistência a ambientes quimicamente agressivos, excelentes

propriedades elétricas, fácil pigmentação, cura a frio e utilização de moldes baratos (COSTA, 2017).

Tabela 2 - Tipos de resina poliéster

Tipos	Comentários
<i>Ortoftálica</i>	A mais comum e de menor custo
<i>Teraftálica</i>	Baixa resistência UV, resistência física pouco superior a anterior
<i>Isoftálica</i>	Melhores características físicas, mecânicas e térmicas que as anteriores
<i>Isoftálica com NPG</i>	NPG melhora resistência a hidrólise
<i>Bisfenólica</i>	Melhores características químicas e térmicas

Fonte: Gomes (2015)

5.1.3 Processo de fabricação dos materiais compósitos

Desenvolvimento e a maneira com que os diferentes componentes dos compósitos são combinados estão relacionados com seus métodos e processos de fabricação. O processo que será utilizado na fabricação de um compósito depende do que se quer obter como produto final (formato da peça, acabamento e dimensão) e a escala de produção (LION 2013, APUD NETO, 2016).

A classificação dos processos de fabricação de um compósito se divide em dois grupos, que são: os processos de fabricação com molde aberto e os com molde fechado. Os processos de moldes abertos geralmente utilizam baixa tecnologia e possuem um baixo custo de produção. Sendo eles:

- **Laminação manual (Hand lay up):** Processo onde todas as etapas são realizadas de forma manual, sendo umas das primeiras técnicas de produção, que consiste na colocação dos tecidos de fibras ou mantas sobre o molde, impregnando com resina utilizando um pincel, onde para melhorar esse processo de impregnação são utilizados rolos de alumínio, a fim de eliminar as bolhas, depois o processo é continuado com a colocação das camadas até a obtenção da espessura desejada e o moldado é curado sem pressão e calor.
- **Centrifugação:** Processos que consiste na mistura de fibras e resinas e introduzidas em um molde rotatório e curadas no local.

- Laminação a pistola (spray up): Processo mais utilizado, geralmente para fabricação de peças maiores, onde nesse processo é utilizada uma pistola que irá injetar ao mesmo tempo a resina e o fio picotado, passando também um rolo para diminuir a presença de bolhas.

- Enrolamento: Processo recomendado para fabricação de peças em formatos cilíndricos ou esféricos, onde a modelagem é feita através do enrolamento das fibras contínuas sobre o molde rotativo.

Os processos em moldes fechados são caracterizados pela presença de molde e contramolde e possui o uso de uma alta tecnologia. Sendo eles:

- Moldagem por compressão: Processo em que se utiliza o material (fibras) pré-impregnado pela resina em um molde aquecido.

- Injeção: O processo consiste na injeção da resina em um molde fechado contendo em seu interior um reforço pré-formado e se solidifica no formato de uma peça.

- Pultrusão: Considerado um processo de elevado custo e um processo automatizado para fabricação de perfis de plástico de alto desempenho, onde as fibras impregnadas com resinas são tracionadas através de moldes aquecidos, produzindo então a polimerização da resina.

5.2 HISTÓRICOS DO USO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

As rochas ornamentais foram formadas há mais de 4 bilhões de anos, abrangendo assim todos os tipos de materiais rochosos, os quais são extraídos e processados para diversos usos (VIDAL, AZEVEDO, CASTRO, 2014). Na pré-história essas rochas já eram utilizadas em construções de casas, além de serem utilizadas como matérias-primas para vários instrumentos e armas. Com o decorrer do tempo na idade antiga, as rochas continuaram sendo utilizadas em casas como os templos, pirâmides e esculturas (VIDAL, AZEVEDO, CASTRO, 2014).

Na época do Império Romano, o uso de rochas para construção foi devidamente ampliado, havendo muitas obras de arquitetura e construções civis, como o Maison Carree, um santuário, pont Du gard, coliseu, dentre outras. Já na Idade Média com melhores condições de transformação, os mármore e granitos

passaram a ser utilizados grandemente no interior de casas, igrejas e pisos (GUEDES, 2019).

Na era moderna da Europa, os mármore passaram a ser utilizados como matéria prima para confecções de moveis de luxo, portanto nesta época houve o aparecimento das indústrias modernas, que logo se espalhou por toda Europa, mas chegando ao Brasil esses produtos luxuosos apenas no século XIX (GUEDES, 2019). No Brasil existem diversas jazidas de rochas ornamentais de excelente qualidade e aproveitamento, mas só a partir do século XIX foi introduzido equipamentos com a tecnologia necessária para extrair e produzir essas rochas. Assim, o Brasil passou a ser um dos grandes exportadores de mármore no mundo (PACHECO, 2009).

As exportações brasileiras de rochas ornamentais somaram um total de US\$ 767,5 milhões e 1,5 milhões de toneladas no período de janeiro-setembro de 2019, com uma variação positiva de 9,9% e 5,1% ao mesmo período de 2018. As exportações brasileiras foram direcionadas para 112 países, em todos os continentes, onde os EUA foi o principal destino dessas exportações respondendo por 62,3% do faturamento total e onde grande parte desse faturamento foi no estado de Espírito Santo, correspondendo a um valor de 81,7% (ABIROCHAS, 2019).

No Brasil a produção de materiais rochosos naturais, para ornamentação e revestimento foi estimada em 9,2 Mt no ano de 2017, onde essa produção inclui principalmente mármore e granitos com um destaque em especial para o estado de Espírito Santo e Minas Gerais, responsáveis pela maior produção de rochas (ABIROCHAS, 2018).

Tabela 3 - Perfil da produção brasileira por tipo de rocha (2017)

Tipo de Rocha	Produção (Mt)	Participação (%)
Granito e similares	5,0	54
Mármore e Travertino	2,0	22
Ardósia	0,4	4,5
Quartzito Foliado	0,3	3
Quartzito Maciço	0,9	10
Pedra Miracema	0,2	2
Outros (Basalto, Pedra Cariri, Pedra-Sabão, Pedra Morisca etc.)	0,4	4,5
Total estimado	9,2	100

Fonte: Abirochas (2018)

Tabela 4 - Distribuição Estadual da Produção de Rochas Ornamentais no Brasil (2017)

Região	UF	Produção (t)	Tipo de Rocha
Sudeste	Espírito Santo	3.400.000	Granito e mármore
	Minas Gerais	1.900.000	Granito, pegmatito, ardósia, quartzito foliado, quartzito maciço, pedra-sabão, pedra-talco, serpentinito, mármore e basalto
	Rio de Janeiro	200.000	Granito, mármore e pedra Paduana (gnaisse)
	São Paulo	80.000	Granito, quartzito foliado
Sul	Paraná	200.000	Granito e mármore
	Rio Grande do Sul	140.000	Granito, basalto e quartzito
	Santa Catarina	120.000	Granito, ardósia e mármore
Centro-Oeste	Goiás	200.000	Granito, quartzito foliado, serpentinito
	Mato Grosso	50.000	Granito
	Mato Grosso do Sul	60.000	Granito e mármore
Nordeste	Bahia	850.000	Granito, pegmatito, mármore, travertino, arenito e quartzito maciço
	Ceará	900.000	Granito, pegmatito, limestones e pedra Cariri (calcário plaqueado)
	Paraíba	430.000	Granito e conglomerado
	Pernambuco	140.000	Granito e quartzito
	Alagoas	160.000	Granito
	Rio Grande Norte	170.000	Mármore e granito
	Piauí	100.000	Pedra Morisca (arenito arcossiano) e ardósia

Fonte: Abirochas (2018)

5.2.1 Resíduos de rochas ornamentais no meio ambiente

A geração de resíduos de rochas ornamentais pode causar impactos sobre o meio ambiente (água, ar e solo) e diretamente também ao ser humano, como a silicose. Além disso, representam um desperdício de recurso natural, já que podem ser utilizados para outros fins, como agregados ou matérias primas para novos

produtos (SANTOS, 2016). As etapas de beneficiamento das rochas geram diversos tipos de resíduos, constituídos de pó ou pedaços de pedra com várias dimensões, podendo ser de centímetros até metros (SANTOS, 2016).

O setor de rochas ornamentais é responsável por três tipos de resíduos: retalhos de rochas, que se forma pela sobra e quebra de peças, gerando uma perda de 10% a 20%, a lama de serraria, que é proveniente da serragem de rochas após sua extração, além do polimento e lustro de chapa, aonde esses resíduos chegam a atingir 30% a 40%, lama de marmoraria, formada pelo processo de recorte, polimento e lustro da rocha (FIEMG, 2015; APUD COSTA, 2017).

Tabela 5 - Origem das perdas na cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais

ETAPAS DA CADEIA PRODUTIVA	ORIGEM DAS PERDAS
EXTRAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Blocos com dimensões não padronizadas; • Cacos de pedra e pó.
BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO (SERRARIA)	<ul style="list-style-type: none"> • Imperfeições dos casqueiros (laterais dos blocos); • Quebras de placa por falhas no empilhamento; • Serragem de placas defeituosas.
BENEFICIAMENTO SECUNDÁRIO (MARMORARIA)	<ul style="list-style-type: none"> • Retalhos de rocha • Pó de serraria (lama) • Pó de marmoraria (lama)

Fonte: OLIVEIRA (2015)

Durante o processo, é gerado uma lama abrasiva, que surge devido ao uso da água utilizada para refrigeração das máquinas, junto ao pó resultante dos processos de corte e polimento (FIEMG, 2015). Estima-se que são geradas 2,2 toneladas de lama por cada metro cúbico de rocha serrada, porém como as indústrias não costumam separar os resíduos por processo, ou seja, de serragem e polimento, a lama final pode conter outras substâncias, devido ao polimento que são gerados em torno de 3,5 kg de lama por metro quadrado de chapa (SANTOS, 2016).

Figura 8 - Lama armazenada no pátio da empresa Marmoraria LTDA em Natal-RN



Fonte: Autoria própria (2020)

A lama gerada escorre pela gravidade para uma espécie de reservatório que reaproveita a água através de um sistema que utiliza bombas, onde a água da lama retorna à máquina, mantida em circulação até o término da serrada. Após o término desse processo, espera a secagem do material (lama) e depois transportar o material para aterro ou até mesmo ficarem retidos nos pátios da empresa.

Os resíduos geralmente são estocados em lugares abertos ou até mesmo são jogados em rios sem nenhum tipo de tratamento, gerando problemas de assoreamento, contaminando as águas dos rios, córregos e podendo até contaminar reservatórios naturais de água (COSTA, 2017).

Figura 9 - Resíduos de rochas obtidos através de corte na marmoraria LTDA em Natal - RN



Fonte: A autoria própria (2020)

Segundo ABIROCHAS, a utilização de resíduos provenientes da indústria de rochas ornamentais, além de trazerem benefícios ao meio ambiente e para empresa que os utilizam, resulta em uma maior lucratividade para as empresas que produzem esse rejeito, pois esse material passaria a ser reaproveitado e comercializado, fornecendo uma alternativa para o mercado.

Analisando assim esse setor de rochas ornamentais, pode-se observar certa falta de inovação tecnológica e problemas ambientais que poderiam ser minimizados por equipamento mais avançados, restrição na competitividade das empresas e mercado limitado (COSTA, 2017).

Minimizar impactos ambientais, com a diminuição da produção de resíduos e potencializar o uso dos recursos naturais não renováveis são características fundamentais para as sociedades modernas em busca do desenvolvimento sustentável. Por isso em todos os países, inclusive o Brasil, tanto a legislação ambiental como a política nacional de resíduos sólidos requerem que sejam encontradas soluções técnicas para o aproveitamento dos resíduos de rochas ornamentais (SANTOS 2016).

5.3 HISTÓRICOS DE TRABALHOS ANTERIORES SOBRE ESTUDOS COM RESÍDUOS

São apresentados vários estudos no campo de materiais compósitos utilizando resíduos de rochas ornamentais, destacando-se, sempre, a preocupação ambiental com armazenamento nocivo geralmente dado a esses resíduos. O reaproveitamento dos resíduos pode ser operacionalizado para a obtenção de compósitos cerâmicos e poliméricos (CARVALHO, 2017).

GONÇALVES (2000) utilizou com êxito o resíduo de corte de granito como adição para a produção de concretos em frações de 10% e 20% em relação à massa de cimento. A análise dos resultados permite concluir que sua utilização como adição em concretos é viável tecnicamente, e que 10% de adição é o teor que apresenta melhor desempenho.

ALMEIDA & PONTES (2001), realizaram estudos sobre rejeitos de pedreiras e finos de serrarias de rochas visando à sua utilização em agregados para a construção civil, bem como em argamassas, pré-moldados e indústria de cerâmica vermelha (tanto em tijolos como telhas).

XAVIER et al. (2002), utilizaram resíduo da serragem de mármore e granito em até 20% na fabricação de produtos de cerâmica vermelha, tendo como processo de conformação tanto a extrusão, como o processo de prensagem. Neste caso, foram utilizadas duas massas cerâmicas, onde foram aplicados um resíduo de mármore e um de granito, tendo sido desagregados e passados em malha 200. Os melhores resultados foram apresentados com os teores de 5% de granito e 15% de mármore.

MENEZES et al. (2002), avaliaram a possibilidade de adição dos resíduos em massas cerâmicas para confecção de blocos e revestimentos cerâmicos. Verificou-se que os resíduos apresentam características físicas e mineralógicas semelhantes aos das matérias-primas cerâmicas convencionais e que corpos cerâmicos formulados com resíduos apresentam características dentro das especificações da normalização brasileira tanto para blocos como para revestimentos cerâmicos.

MOREIRA et al. (2003), utilizaram o resíduo da serragem do granito, porém específico da região do Espírito Santo (onde este tipo de resíduo é produzido em

grande escala), como aditivo na fabricação de produtos cerâmicos para construção civil. Os resultados revelaram que o resíduo é um material polimineral não plástico constituído basicamente por sílica, feldspatos, mica e calcita. Além do mais, os corpos sintetizados contendo resíduo de serragem de granito têm uso provável em cerâmica vermelha, contribuindo para a minimização de resíduos e desenvolvimento autossustentado.

HWANG & SOO KO (2008), destacam a importância do desenvolvimento de tecnologias de reciclagem de resíduos de materiais, como os provenientes do mármore, do concreto e do plástico; devido ao elevado volume de produção na indústria e a crescente economia mundial. Além disso, o crescimento da indústria da construção civil resulta numa crescente demanda por agregados; logo, a importância de como reciclar ou reutilizar resíduos torna-se uma questão tecnológica.

WANG et al. (2010) estudaram a obtenção e caracterização de um compósito que utilizava pó de mármore como material de enchimento e resina de poliéster insaturado como a matriz polimérica. Acrescentaram uma quantidade de pó de mármore de 200g à 100g de resina poliéster. O tempo de gel e o tempo de cura foram 10,5 min e 34 mi, respectivamente, com a temperatura de pico atingindo 71,44 ° C, e a temperatura de resistência ao calor foram aumentadas de 81° C. Demonstraram que a processabilidade da mistura era plenamente viável e que o compósito apresenta inúmeras possibilidades de utilização.

AHMETLI et al. (2012) publicaram a utilização de resíduos de mármore gerados por processos industriais para a obtenção de compósitos poliméricos. Foram utilizadas formulações com até 20%, em massa dos resíduos em relação a resina epóxi matriz. Demonstraram que a incorporação de partículas de resíduos de mármore aumentava a dureza superficial, a resistência à tração, o alongamento, e a tensão na carga máxima dos compósitos quando se comparava com os resultados obtidos com a resina matriz. A microscopia eletrônica de varredura (sem) foi utilizada para caracterização microestrutural dos compósitos obtidos e estudados para explicar o comportamento das propriedades determinadas.

OLIVEIRA et al. (2014) defenderam que a preservação ambiental é um fato de importância nos tempos atuais e visível o crescente impacto dos resíduos industriais no meio ambiente, causando o crescimento de interesse em

aprimoramento de algumas soluções viáveis, tanto econômica quanto ambientalmente. Um resíduo geralmente lançado no ambiente é o gerado pela indústria de rochas ornamentais.

A utilização desses resíduos como aditivos de massa argilosa vem aumentando cada vez mais o interesse de pesquisadores. Estudaram uma massa argilosa composta de argila e caulim, com adição e lama de marmoraria em diferentes teores. Essas formulações foram comparadas diante de diversas análises, sendo elas absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente, massa específica aparente, módulo de ruptura a flexão, perda ao fogo e retração linear.

SILVA et al. (2015) publicaram um artigo abordando a crescente demanda mundial pela utilização de rochas ornamentais em construções e revestimentos, assim como a necessidade de se diminuir o impacto ambiental gerado pelos resíduos na produção de rochas artificiais. Investigaram a formulação de rochas artificiais compostas por resíduo de mármore calcita e resina epóxi, gerando um compósito com boas propriedades físicas e mecânicas.

As rochas artificiais produzidas foram submetidas a testes de absorção de água, compressão e flexão em três pontos para caracterização mecânica. As rochas produzidas artificialmente apresentaram propriedades mecânicas dentro da faixa esperada para estes materiais comparáveis com similares comerciais.

GUEDES (2019) com o intuito de reaproveitar os resíduos de pó de mármore que eram desperdiçados e estocados no meio ambiente, fez um estudo onde realizou a substituição do agregado miúdo (areia) para o pó de granito, apresentando resultados positivos em seus ensaios, produzindo mais uma alternativa de concreto no mercado e mais um possível futuro compósito utilizado como alternativa na construção civil.

Sobre o assunto resíduo, neste caso pó de marmoraria, não podemos deixar de observar que isso implica tanto no aspecto ambiental quanto no aspecto econômico, visto que, ao serem recolhidos os resíduos depositados ilegalmente do grupo de construção civil (onde está inclusa o pó), é gerado um custo para os municípios (OLIVEIRA, 2015).

5.4 COMPOSITOS REFORÇADOS COM RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

5.4.1 Secções de éster vinílico reforçado com fibra de vidro

A utilização de compósitos para melhorar a infraestrutura de pontes e estradas é uma aplicação relativamente nova e animadora. Essas estruturas sofrem os efeitos da corrosão e por isso exigem manutenção ou substituição constante. Os produtos compósitos, por outro lado, oferecem vida útil mais longa e com menos requisitos de manutenção devido à sua resistência à corrosão (CAMPBELL, 2010).

Além da nova construção de pontes, figura 10, ou a substituição completa das seções de pontes de concreto armado, o polímero reforçado com fibras também é usado para atualizar, adaptar e fortalecer estruturas de concreto ou aço danificadas, deterioradas ou de baixa qualidade (KARBHARI, 2004; VASCONCELOS, 2018).

Figura 10 - Secções pultrudadas de éster vinílico reforçado com fibra de vidro na construção de um sistema de plataforma de ponte



Fonte: MALLICK (2008)

5.4.2 Concreto reforçado com fibras

Em obras em que a estrutura está muito propensa a esforços dinâmicos, como é o caso das estruturas construídas em regiões sujeitas a abalos sísmicos ou mesmo sujeitas à fadiga por esforço cíclico, é viável a utilização de concretos reforçados com fibras para se minimizar o dano causado por estes esforços e minimizar a fissuração da estrutura. Isto garante uma maior vida útil para o material

da estrutura, conforme o verificado em estudos experimentais em vigas de ligação para paredes gêmeas sujeitas a esforços cortantes (WIGHT; ERKI, 1995).

Outra aplicação onde a resistência ao impacto é particularmente importante são as construções militares (CANOVAS, 1997), onde tem-se o risco de impactos provocados pelos mais variados projéteis. Há um enorme potencial do concreto reforçado com fibras para este tipo de construção, pois ele tem todas as condições para proporcionar um desempenho superior ao do concreto convencionalmente armado (FIGUEIREDO, 2000).

5.4.3 Compósitos termoplásticos com madeira

A produção de compósitos de madeira com polímeros é uma prática antiga, particularmente quanto ao uso de resinas termofixas como uréia, fenol, ou melamina-formaldeído e isocianatos na produção de painéis MDF (medium-density fiberboard). Trabalhos de cunho mais acadêmico, acompanhados por um grande número de patentes depositadas por grandes corporações do mercado de construção civil e automobilístico, surgiram nos EUA nos anos 90 relacionando a utilização de resíduos de papel e madeira como cargas para termoplásticos (CORREIA, 2003).

No Brasil, estudos recentes relacionam o uso de resíduos de madeira em inúmeras aplicações. Nos EUA e na Europa, já existe uma legislação que limita a queima indiscriminada de derivados celulósicos, principalmente o papel e a madeira, o que acabou incentivando a busca de alternativas para poder reaproveitar esses resíduos.

Esses produtos têm encontrado grande aceitação no mercado em aplicações como perfis para construção civil e como componente automobilísticos, devido a sua leveza, versatilidade e baixo custo, quando comparados com a madeira natural ou outros compósitos poliméricos reforçados com cargas minerais (CORREIA, 2003).

6 NBRS UTILIZADAS

6.1 ABNT NBR 248

Após a secagem do material, se toma as amostras de acordo com sua massa. Encaixar as peneiras, previamente limpas, de modo que forme um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Usar um fundo de peneiras adequado ao conjunto (ABNT, 2003).

Destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixado) até que, depois de um minuto de agitação contínua, massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retido. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto inclinado (ABNT, 2003).

Para cada uma das amostras de ensaio, calcular a porcentagem retida, em massas, em cada peneira, com aproximação de 0,1%. As amostras devem apresentar necessariamente a mesma dimensão máxima característica e, nas demais peneiras, os valores de porcentagem retida individualmente não devem diferir mais que 4% entre si. Caso isto ocorra, deverá se repetir o peneiramento para outras amostras de ensaio até atender a esta condição (ABNT, 2003).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 RESULTADOS DE COMPOSITOS COM RESIDUOS DE MÁRMORE E RESINA POLIÉSTER

7.1.1 Costa, 2017

Costa em 2017, coletou o material dos resíduos de mármore e granitos em forma de lama, passando por um processo de secagem e peneirada na malha de 4,8mm. A resina foi encontrada no mercado local.

Foram utilizadas no processo dois tipos de resina poliéster, sendo a ortofálica (cristal) e a tereftálica (escura) e diferentes proporções dos resíduos de mármore e granito, assim fabricados corpos de prova com uma proporção máxima de 2,5 partes de resíduo de pó de mármore para uma parte de resina, onde seu processo de fabricação utilizado foi o de compressão a frio.

Tabela 6 – Formulações de compósitos estudadas

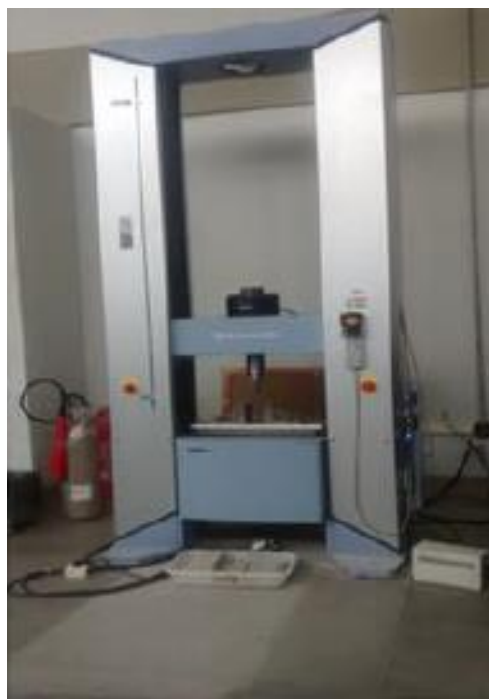
Fórmulas	Percentual de resíduos de mármore e granitos.
1	0%
2	50%
3	100%
4	150%
5	200%
6	250%

Fonte: Adaptado de Costa (2017)

Para o ensaio de tração os procedimentos adotados foram baseados na ASTM-D368-10. Para o ensaio de flexão em três pontos foi baseado na norma ASTM-D790-10.

Para a realização dos ensaios de tração e flexão foi utilizada a máquina universal (SHIMADZU) de modelo AGX 300 com capacidade máxima de 30 toneladas em temperatura ambiente (aproximadamente 25°C).

Figura 11 – Máquina universal utilizada para os ensaios de tração e flexão



Fonte: Costa (2017)

Na tabela a seguir apresenta-se os resultados dos ensaios de tração e flexão para as fórmulas utilizadas do compósito e para seus dois tipos de resina poliéster.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de tração e flexão para cada resina e formulação do compósito

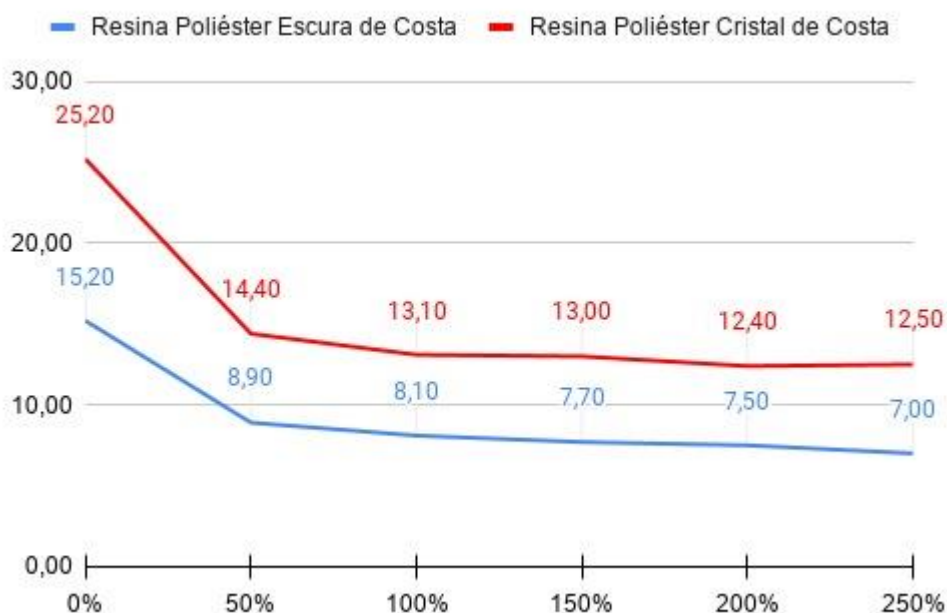
Fórmula	RT (MPa)	RF (MPa)	Fórmula	RT (MPa)	RF (MPa)
Resina escura	15,2	55	Resina cristal	25,2	60
50% RPM	8,9	45	50% RPM	14,4	50
100% RPM	8,1	40	100% RPM	13,1	45
150% RPM	7,7	37	150% RPM	13	42
200% RPM	7,5	35	200% RPM	12,4	40
250% RPM	7,0	32	250% RPM	12,5	38
Média	9,1	40,7	Média	15,1	45,8

Fonte: Adaptado de Costa (2017)

Nos resultados acima pode-se observar que a resistência mecânica para as formulações de resina poliéster cristal foram superiores, principalmente para a tração, obtendo uma superioridade de 40% para a resina e média das formulações.

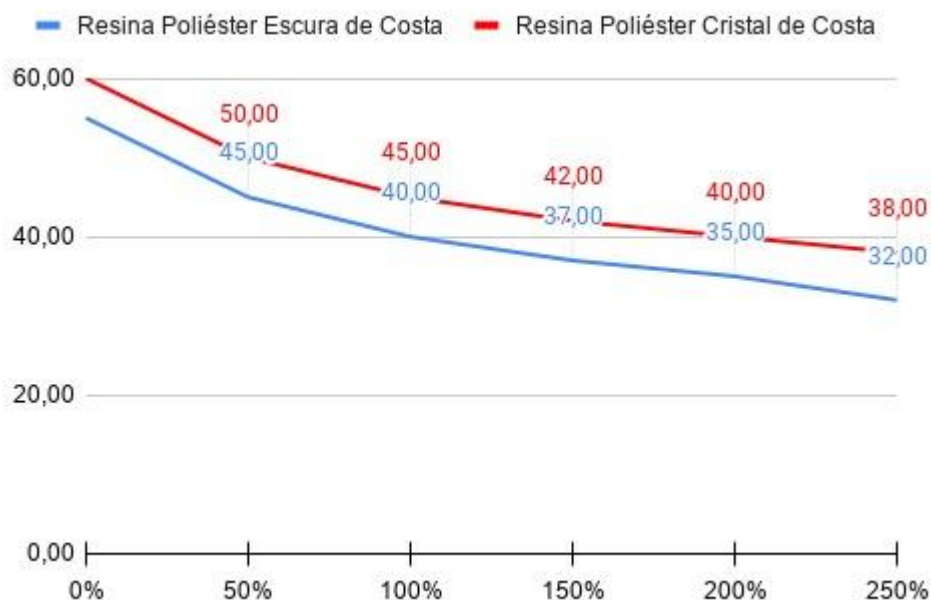
À medida que era aumentado a quantidade de resíduos, obtinha uma diminuição da resistência a tração, sendo o pior resultado para 250% RPM. A redução já era esperada pois os particulados diminuem a resistência mecânica dos novos materiais gerados, quando comparado a matriz.

Figura 12 – Gráfico da variação da resistência média à tração em MPA (eixo Y) dos ensaios de Costa em função da concentração de resíduos de mármore e granito (eixo X)



Fonte: Adaptado de Costa (2017)

Figura 13 – Gráfico da variação da resistência média à flexão em MPA (eixo Y) dos ensaios de Costa em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)



Fonte: Adaptado de Costa (2017)

Foi observado também que a resistência média a flexão foi bem superior que a da tração, mostrando uma maior viabilidade do compósito para esforços gerados a partir da flexão.

7.1.2 Rodrigues, 2016

Rodrigues, em 2016, para fabricação dos corpos de prova, utilizou a resina poliéster Isoftálica e foram coletados os resíduos de mármore em uma empresa local que após a coleta, o material foi colocado na estufa para secagem, chegando a uma densidade dos resíduos de mármore e granitos de 2,86 g/cm³.

Ao longo do processo foram utilizadas diferentes proporções de resíduos de mármore e granitos variando na proporção de 10% na presença de resíduos até 40%, como mostra a tabela a seguir.

Tabela 8 - Proporções de resíduos utilizadas
 Percentual dos Resíduos de mármore e granitos

0%
10%
20%
30%
40%

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2016)

Para realização do ensaio de tração foi utilizado um equipamento de ensaio universal WDW-100 e foi obtido os seguintes resultados:

Tabela 9 - Resultados obtidos no ensaio de tração

Concentração dos resíduos de mármore e granitos	Resistência a tração (MPa)
0%	31,94
10%	18,07
20%	22,44
30%	19,51
40%	19,58

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2016)

Feito a análise da tabela acima pode-se afirmar que o melhor resultado, desconsiderando o da matriz plena, foi o com carga de 20% de resíduos de mármore e granito, que pode ter ocorrido devido a uma melhor acomodação e homogeneização das partículas da carga na matriz.

7.2 RESULTADOS DE COMPOSITOS COM RESIDUOS DE MÁRMORE E RESINA EPÓXI

7.2.1 Gonçalves, 2015

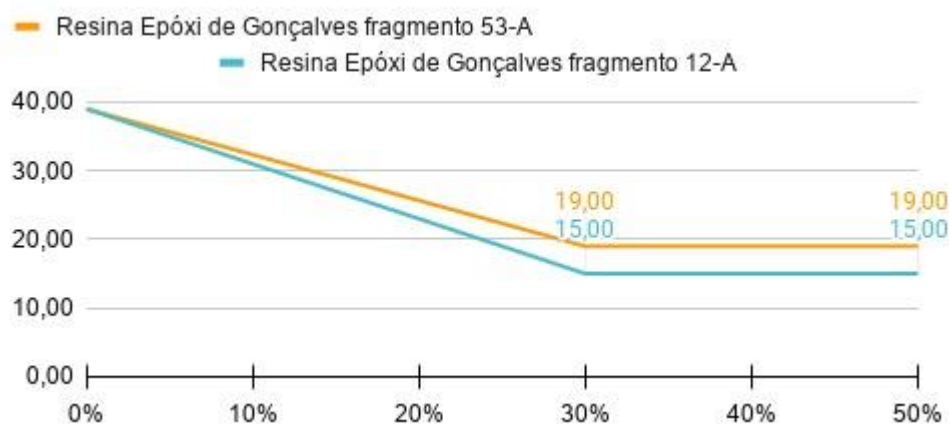
Gonçalves, em 2015, comprou a resina epóxi como um material viscoso, formado por duas partes, o polímero araldite e a segunda parte o endurecedor à base de amina cicloalifática, coletado também dois tipos de fragmentos de rocha graníticas o 53-A e 12-A, com áreas específicas de 0,42 e 0,66m²/g.

O pó foi peneirado usando peneiras de latão com malhas de 106 µm e em seguida o material foi colocado na estufa para secagem.

O polímero e o endurecedor foram utilizados seguindo as proporções indicadas pelo fabricante e os fragmentos de rochas pesados em uma balança de precisão. Para a realização dos ensaios mecânicos de tração e flexão foi utilizada a máquina universal de ensaios Instron 3367.

No ensaio de flexão foi adotado o ensaio mecânico de resistência de três pontos. Após a realização do ensaio de tração, pode-se observar que a medida que se aumenta a concentração dos resíduos de rochas de mármore e granitos na composição do corpo de prova, têm-se uma diminuição da resistência a tração.

Figura 14 – Gráfico da variação da resistência média em MPA (eixo Y) à tração dos ensaios de Gonçalves em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2015)

Observa-se também que utilizando o fragmento de rocha 12-A (de maior espessura), foi obtido também resultados inferiores de resistência a tração em relação ao fragmento de menor espessura como mostra a tabela a seguir.

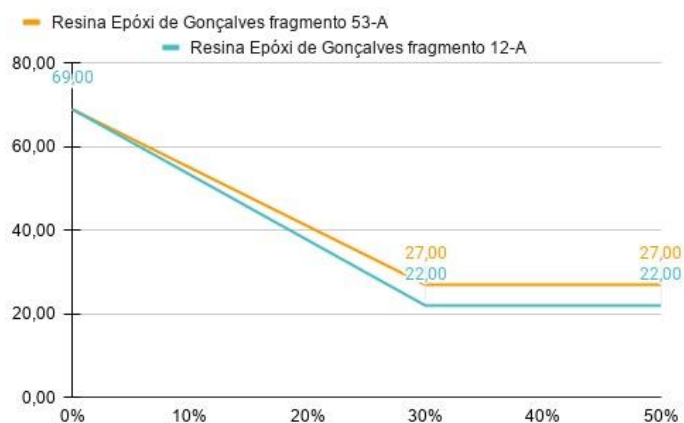
Tabela 10 - Valores obtidos após o ensaio de tração

Fragmento 53-A	Resistência em MPA
0%	39
30%	19
50%	19
Fragmento 12-A	Resistência em MPA
0%	39
30%	15
50%	15

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2015)

Após a realização do ensaio de flexão, foram obtidos resultados semelhantes, onde à medida que se aumenta o tamanho das partículas dos resíduos de rocha e aumenta sua concentração, tende a obter um resultado menor de resistência a flexão.

Figura 15 – Gráfico da variação da resistência média em MPA (eixo Y) à flexão dos ensaios de Gonçalves em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2015)

Tabela 11 - Valores obtidos após o ensaio de flexão

Fragmento 53-A	Resistência em MPA
0%	69
30%	27
50%	27
Fragmento 12-A	Resistência em MPA
0%	69
30%	22
50%	22

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2015)

7.2.2 Ramiro, 2018

Ramiro, em 2018, para fabricação dos corpos de prova, coletou os resíduos de rocha em uma empresa local, destorroando o material, fazendo a secagem e definiu como granulometria o material retido entre as peneiras 200 e 270 mesh.

Após adquirir a resina, chegou à proporção para fabricação dos corpos de prova com o valor de 60% para os resíduos de rocha e 40% para a resina epóxi. O ensaio de flexão em 3 pontos foi feito em um equipamento universal EMIC modelo DL10000, apresentando os seguintes resultados:

Figura 16 - Resultados do ensaio de flexão em 3 pontos

Resultados de resistência a flexão em MPA
46,96
50,32
49,79
50,49
49,28
Média geral: 49,37

Fonte: Adaptado de Ramiro (2018)

Com os resultados obtidos acima podemos observar um excelente desempenho nos ensaios de flexão do corpo de prova fabricado, alcançando uma resistência muito boa e obtendo um bom resultado no desvio padrão comprovando a qualidade na produção do material.

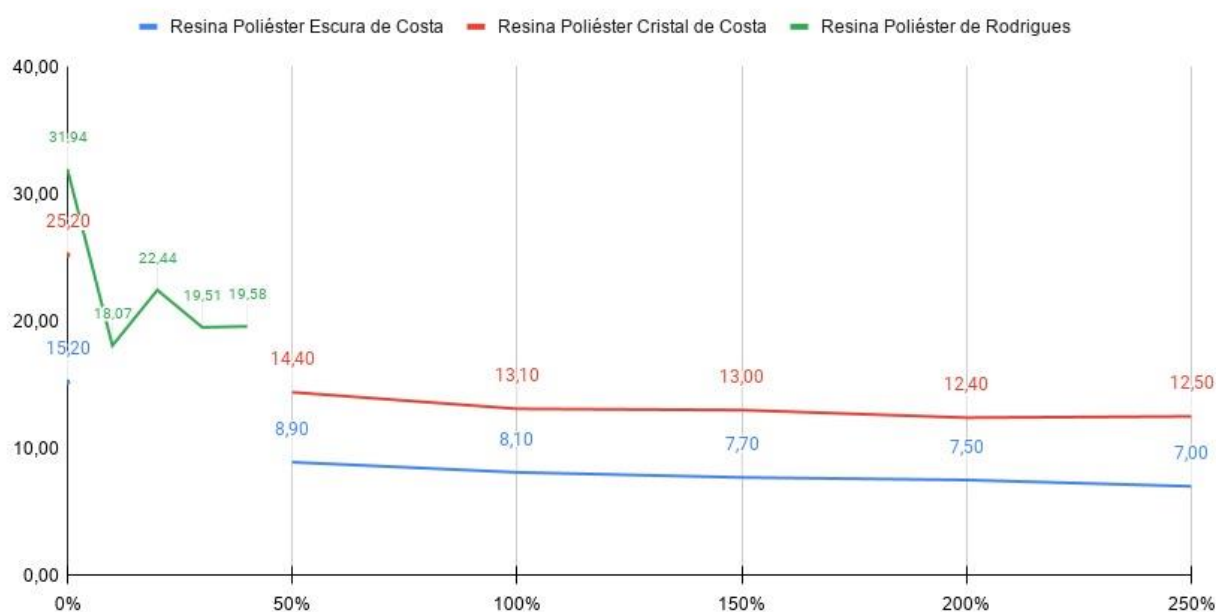
7.3 COMPARATIVO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS

7.3.1 Comparativo dos experimentos realizados com resina poliéster

Ao comparar os dois experimentos realizados por diferentes autores, pode-se observar primeiramente que foram utilizados diferentes tipos de resinas poliéster,

diferentes granulometrias, foram fabricados de forma diferente e também utilizadas diferentes proporções, porém, ao fazer a análise dos resultados, à medida que se aumenta a proporção da concentração dos resíduos de mármore, a resistência tende a cair, porém um destaque para o experimento de Rodrigues (2016) é que a resistência do corpo de prova com concentração de 20% de resíduos de mármore foi maior que a que continha 10% da concentração do mesmo material, concluindo assim a obtenção de uma proporção ideal para a fabricação do compósito.

Figura 17 - Gráfico da variação da resistência média à tração em MPA (eixo Y) dos ensaios de Costa e Rodrigues em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)



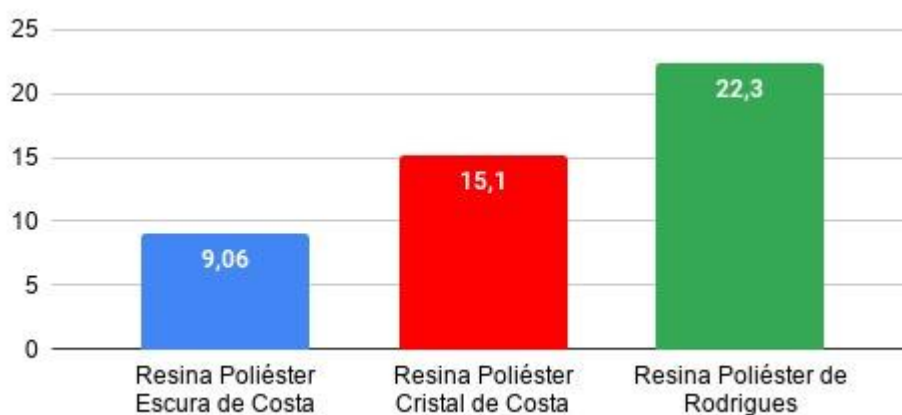
Fonte: Adaptado de Costa (2017), Rodrigues (2016)

Para análise dos resultados foram feitos gráficos comparando as resistências médias obtidas e os desvios padrão nos experimentos de cada autor. Primeiramente pode-se observar que a resina escura (tereftálica) apresentou menor resistência à tração que a resina de cristal (ortofálica), mostrando assim que o tipo de resina poliéster escolhida no experimento influenciará grandemente na resistência e o experimento de Rodrigues que utilizou proporções menores de resíduos de mármore e granitos alcançou a melhor média na resistência à tração,

comprovando que o percentual de resíduos de rochas utilizados influencia diretamente na resistência do material.

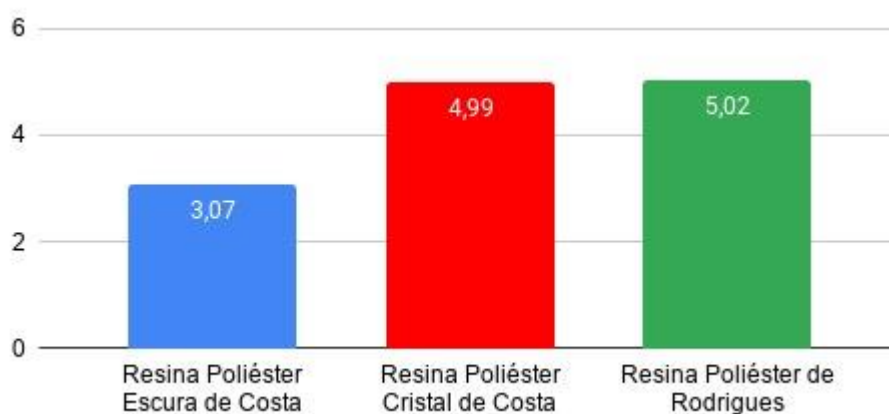
Ao analisar também o desvio padrão de cada experimento, apesar de ter obtido a menor resistência média, a resina poliéster escura de Costa mostrou-se com um menor desvio e resultados mais próximos da média.

Figura 18 - Gráfico das médias da resistência de tração em MPA de Costa e Rodrigues utilizando resina poliéster



Fonte: Adaptado de Costa (2017), Rodrigues (2016)

Figura 19 – Gráfico do desvio padrão de resistência a tração em MPA de Costa e Rodrigues utilizando resina poliéster



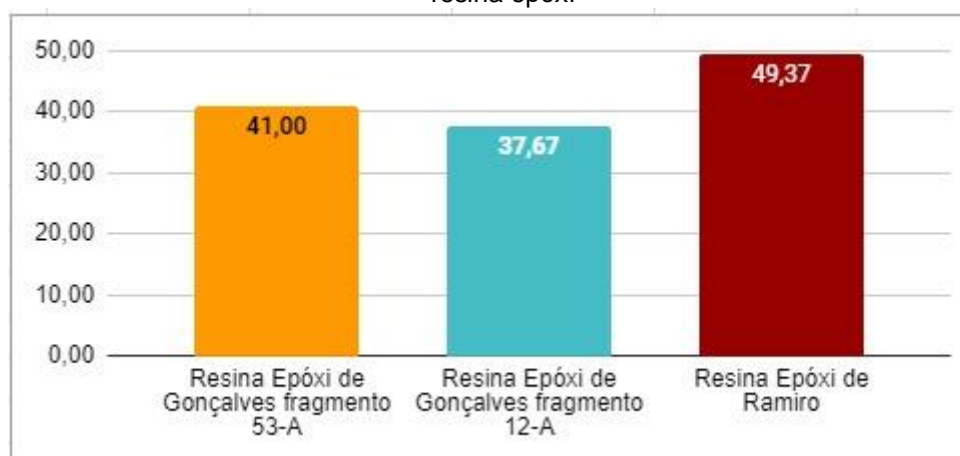
Fonte: Adaptado de Costa (2017), Rodrigues (2016)

7.3.2 Comparativo dos experimentos realizados com resina epóxi

Ao realizar o comparativo entre os dois experimentos realizados por diferentes autores, conclui-se primeiro que seus processos foram feitos de forma distinta desde a coleta do material e seu tipo até a sua fabricação. Ao fazer a comparação entre os resultados obtidos pode-se observar uma diferença significativa entre os dois resultados encontrados, chegando até 230% de diferença entre o maior resultado de um e o menor do outro, porém, como dito anteriormente, os materiais foram produzidos de forma distinta provocando essa enorme variação entre os resultados.

Ao analisar os gráficos abaixo, o fragmento menor de Gonçalves 53-A mostrou maiores médias que o fragmento maior do mesmo 12-A, comprovando assim que quanto menor o tamanho médio da granulometria dos resíduos de mármore e granito, maior será a resistência média alcançada no final e com destaque para o experimento de Ramiro que conseguiu unir uma excelente formulação utilizando a resina epóxi e os resíduos de mármore e granito, chegando ao melhor resultado de média alcançadas entre os experimentos.

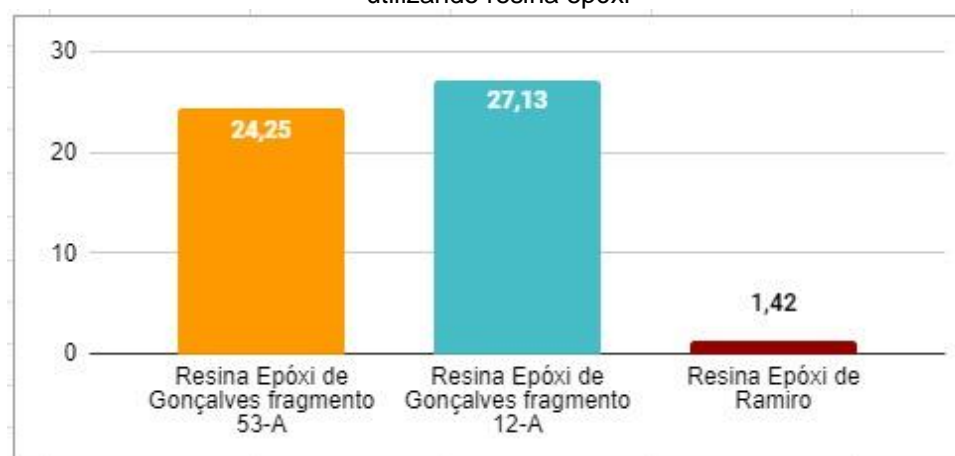
Figura 20 – Gráfico das médias da resistência à flexão em MPA de Gonçalves e Ramiro utilizando resina epóxi



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2015), Ramiro (2018)

Ao analisar o gráfico médio de desvio padrão observou-se que a resina epóxi de Ramiro obteve um menor desvio, porém o experimento foi realizado sempre com a mesma proporção, explicando o fato de ter alcançado um menor desvio e o experimento feito por Gonçalves com o fragmento 53-A (menor tamanho) mostrou-se com um menor desvio padrão que o fragmento 12-A (maior tamanho).

Figura 21 – Gráfico do desvio padrão de resistência à flexão em MPA de Gonçalves e Ramiro utilizando resina epóxi

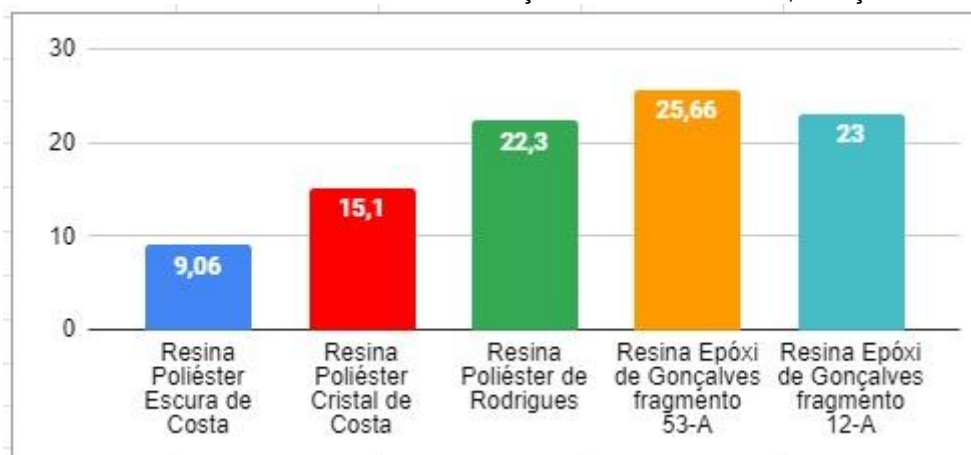


Fonte: Adaptado de Gonçalves (2015), Ramiro (2018)

7.3.3 Comparativo dos experimentos realizados com resina epóxi e resina poliéster

Como citado anteriormente, apesar de todos os experimentos terem sido realizados diferentemente, tem-se um resultado em comum comparado às resinas. Os resultados obtidos nos ensaios de tração foram maiores para aqueles que foram realizados com resina epóxi e com uma menor granulometria obtendo como média maior resistência o experimento de Gonçalves feito com o fragmento 53-A (menor tamanho).

Figura 22 – Gráfico das médias da resistência à tração em MPA de Costa, Gonçalves e Rodrigues

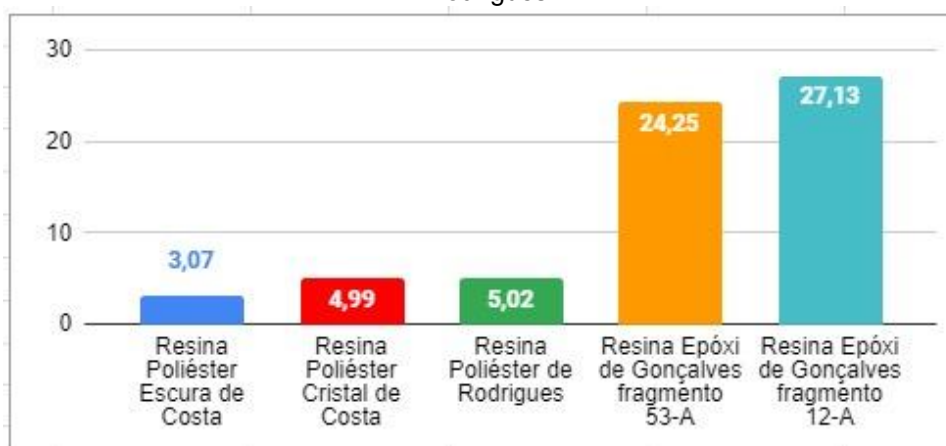


Fonte: Adaptado de Costa (2017), Gonçalves (2015), Rodrigues (2016)

Apesar do experimento de Gonçalves com o fragmento 53-A obter a melhor resistência média o mesmo não obteve o menor desvio padrão entre suas

proporções utilizadas, chegando a um melhor desempenho a resina poliéster escura de Costa, mostrando-se mais consistente.

Figura 23 – Gráfico do desvio padrão da resistência à tração em MPA de Costa, Gonçalves e Rodrigues

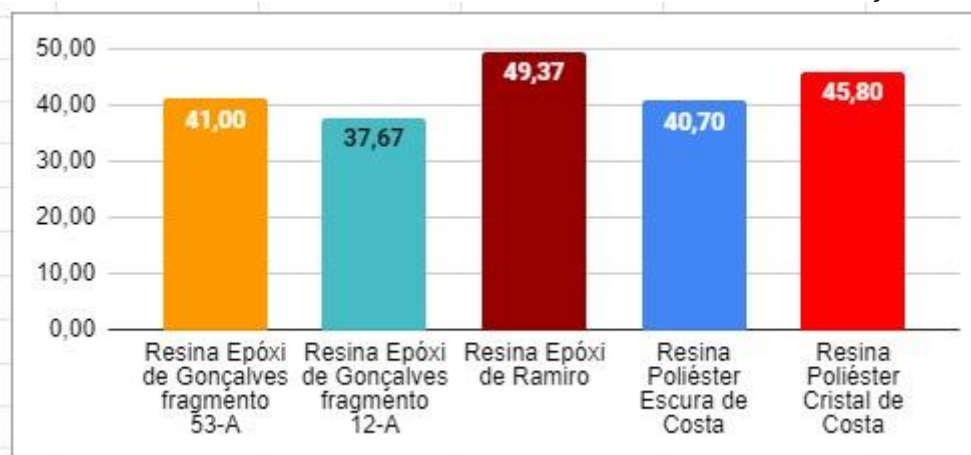


Fonte: Adaptado de Costa (2017), Gonçalves (2015), Rodrigues (2016)

Ao comparar os resultados de flexão realizados pelos autores obteve o melhor resultado o que foi utilizado a resina epóxi no experimento de Ramiro, porém como o mesmo realizou com a mesma proporção de 40% de resina e 60% de resíduos de rocha e granito, analisaremos o experimento de Costa com Resina poliéster Cristal como excelente desempenho, pois o mesmo variou bastante a granulometria de 0% a 250% e mostrou resultados próximos ao de Ramiro que manteve a mesma proporção ao longo do experimento e utilizou uma resina superior (epóxi).

Foi observado também que ao comparar de forma geral as duas resinas a discrepância de valores entre as médias dos experimentos não foi tão grande, mostrando assim que as resinas interferem mais nos resultados de tração do que de flexão.

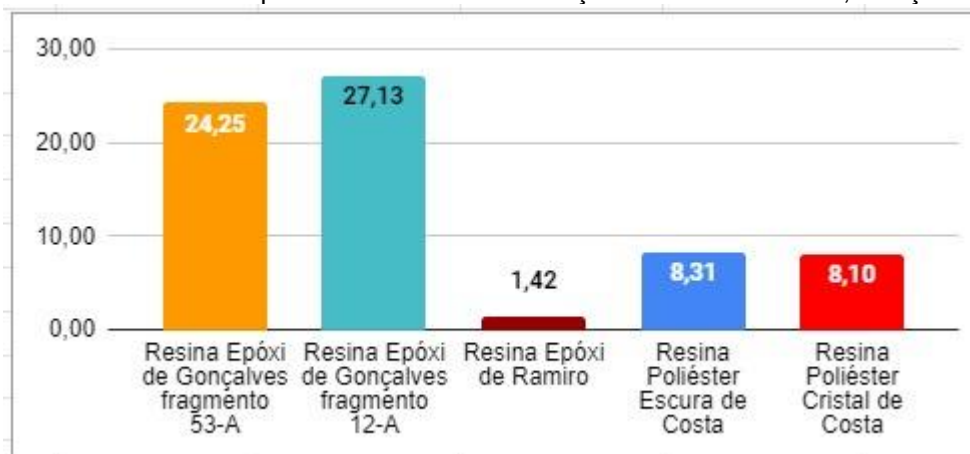
Figura 24 – Gráfico das médias da resistência à flexão em MPA de Costa, Gonçalves e Ramiro



Fonte: Adaptado de Costa (2017), Gonçalves (2015), Ramiro (2018)

Ao analisar de forma geral os resultados de desvio padrão à flexão, as resinas poliéster de Costa mostraram-se mais constante que as resinas epóxi utilizadas por Gonçalves que obtiveram desvio padrão maiores.

Figura 25 – Gráfico do desvio padrão da resistência à tração em MPA de Costa, Gonçalves e Ramiro



Fonte: Adaptado de Costa (2017), Gonçalves (2015), Ramiro (2018)

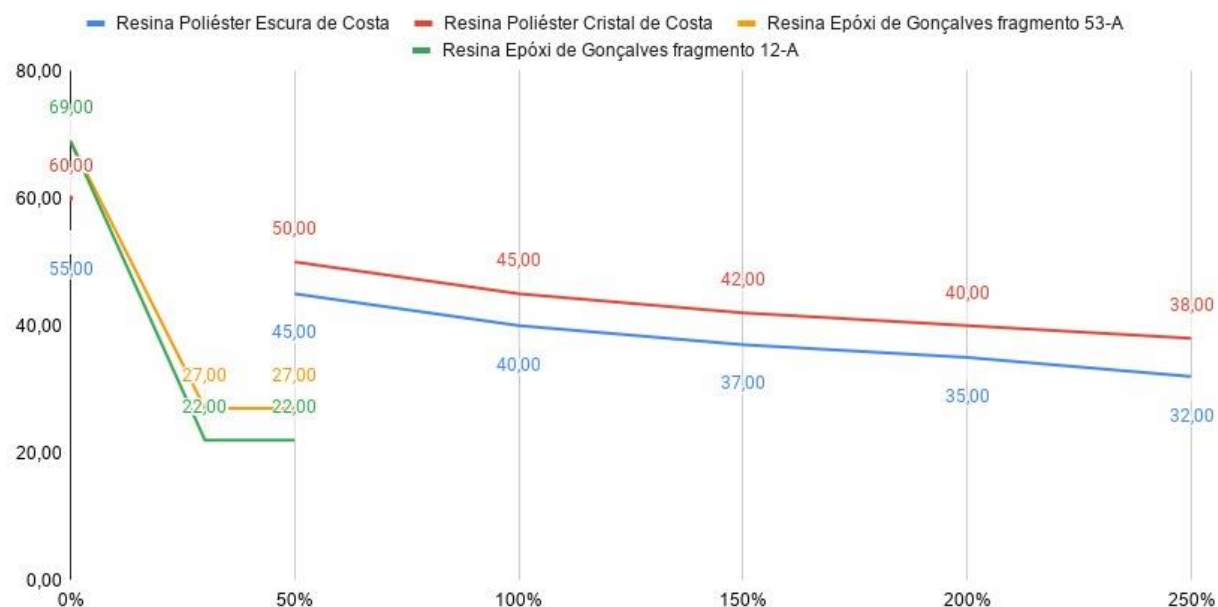
Ao comparar de forma geral todos os resultados da resistência média a tração e a flexão de todos os experimentos, confirma novamente que ao aumentar a concentração dos resíduos de rochas na composição do compósito a resistência mecânica do material tende a cair conforme os gráficos abaixo.

Figura 26 – Gráfico da variação da resistência média à tração EM MPA (eixo Y) dos ensaios de Costa e Gonçalves em função da concentração de resíduos de mármore e granitos (eixo X)



Fonte: Adaptado de Costa (2017), Gonçalves (2015)

Figura 27 – Gráfico da variação da resistência média à flexão dos ensaios de Costa e Gonçalves em função da concentração de resíduos de mármore e granitos



Fonte: Adaptado de Costa (2017), Gonçalves (2015)

8 CONCLUSÃO

Um dos fatores que mais influenciam no resultado da resistência do material é a proporção utilizada dos resíduos de mármore e granito. Portanto, ao fabricar o corpo de prova, deve-se observar primeiro qual resistência deseja obter para assim definir a proporção correta.

Apesar de todos os procedimentos realizados para obter o material compósito serem diferentes, comparando os dois melhores resultados de cada experimento, podemos observar que no ensaio de tração a resina epóxi apresenta uma eficiência aproximadamente 55% maior que o experimento utilizando a resina poliéster, mas já no ensaio de flexão comparando também os dois maiores resultados encontrados nos experimentos, esse aumento cai para apenas 15% maior que o experimento utilizando a resina poliéster.

Porém, apesar de a resina epóxi obter resultados melhores, ela também possui seu lado negativo, pois a mesma possui um preço mais elevado que a resina poliéster, assim sendo importante na hora de criar o compósito analisar qual será o uso do mesmo para assim obter o melhor custo-benefício do material.

Pode concluir-se também que o compósito em questão, criado através da reutilização de resíduos de mármore e granito, junto ao uso de resinas obteve excelentes resultados nos ensaios realizados, assim deixando a possibilidade da possível comercialização de um novo material alternativo alinhado a uma nova utilidade aos resíduos de rochas que eram descartados no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABIOROCHAS – Associação brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – www.abirochas.com.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica** –. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

CALLISTER JUNIOR, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 5. ed. Utah: Livros Técnicos e Científicos Editora S.a, 2016. 589 p. Tradução de: Sérgio Murilo Stamile Soares.

COSTA, Larissa Caroline Fernandes. **Obtenção e estudo de um compósito de matriz de poliéster e carga de resíduos de mármore**. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

GOMES, Jailton Weber. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica e resíduos gerados pela manufatura do MDF (Medium density fiberboard)**. 2015. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015

GONÇALVES, Jorge Antônio Vieira. **Propriedades mecânicas de compósitos particulados à base de resina epóxi reforçados com pó de rochas graníticas pertencentes à faixa de dobramento Sergipana**. 2015. 109 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2015.

MOTA, Maria Kalionara de Freita. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de bucha vegetal (Luffa Cylindrica)**. 2016. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MOTA, Rúi Carlos de Sousa. **Aproveitamento do exocarpo do Licuri particulado para produção de um compósito utilizando como matriz um poliéster ortoftálico**. 2017. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

OLIVEIRA, Liliane Souza. **Reaproveitamento de resíduos de marmoraria em compósitos cimentícios**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2015.

OLIVEIRA, Luan Carvalho Santana. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz de resina poliéster e resíduos de madeira produzidos em marcenarias**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

RAMIRO, Tiago Ferreira. **Produção de massa plástica sustentável, proveniente do resíduo do beneficiamento do mármore dolomítico ônix blue.** 2018 – Monografia (Graduação) – Curso de Educação Ambiental e Sustentabilidade, Instituto Federal do Espírito Santo, IBATIBA, 2018.

RODRIGUES, Diego Nery. **Influência da adição de resíduo de mármore e granito em compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de coco.** 2016. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Processos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

SILVA, Bruno Henrique Alves. **Comportamento compressivo de compósito polimérico a base de tecido híbrido kevlar/vidro.** 2019. Dissertação (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

VASCONCELOS, Tomás Barros. **Efeitos da anisotropia e descontinuidades geométricas em PRFV.** 2018. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.