

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

VINÍCIUS FERNANDES DE LIMA

**UTILIZAÇÃO DE REJEITO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA FABRICAÇÃO DE  
CONCRETO SIMPLES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

NATAL/RN

2022

VINÍCIUS FERNANDES DE LIMA

**UTILIZAÇÃO DE REJEITO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA FABRICAÇÃO DE  
CONCRETO SIMPLES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão do 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

2022

VINÍCIUS FERNANDES DE LIMA

**UTILIZAÇÃO DE REJEITO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA FABRICAÇÃO DE  
CONCRETO SIMPLES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão do 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**

---

M.e. Tomás Barros Vasconcelos  
**Professor Orientador – UNI-RN**

---

M.e. Leivlam Rodrigues de Lima  
**Professor Membro Interno – UNI-RN**

---

M.e. Mariana Silva Freitas  
**Professor Membro Externo**

Dedico este trabalho à minha família por se constituírem diferentemente como pessoas, admiráveis em essência, estímulos que me impulsionaram a buscar vida nova a cada dia, meus agradecimentos por terem aceitado se privar de minha companhia pelos estudos, concedendo a mim a oportunidade de me realizar ainda mais.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, a Nossa Senhora e a São Francisco de Assis, por ser meu refúgio nos momentos mais difíceis que enfrentei, amparando-me. Eterna gratidão por tudo que conquistei e que ele abençoou abrindo as portas.

À minha família que em todos os momentos foram os meus maiores incentivadores para chegar até aqui. Sem o conforto de todos, não teria conseguido.

Em especial os meus pais Miguel e Rosiane, que me ajudaram desde o início e construiu esse sonho comigo. Aos meus irmãos Jessica e Gabriel, que em todos os momentos foram compreensíveis e me apoiaram em todas as situações. A minha noiva Priscila por ter sido a minha incentivadora em todos os momentos, me fazendo crescer profissionalmente, me acalmando nos momentos difíceis e se alegrando com as minhas vitórias.

Essa vitória agora é nossa! Aos meus amigos, por toda a paciência e incentivo para que esta etapa se concluísse. Vital Viegas e Elias Trindade, por todo o apoio em todos os momentos, alegres ou tristes.

Aos meus irmãos espirituais, Anjo da guarda, mentores e guias. Por terem sido o meu amparo em diversos momentos e me ajudado a concluir esta etapa na minha vida.

Obrigado também a todos os meus professores, em especial meu orientador Tomás Barros Vasconcelos por desde o início me abrir as portas e me proporcionar um amadurecimento na parte acadêmica.

## RESUMO

A indústria de rocha ornamental do Brasil é uma das maiores do mundo, com crescimento constante ano após ano, se garantindo forte no mercado competitivo, colaborando diretamente na melhoria de vidas humanas com a geração de novos empregos. Entretanto, existe uma significativa produção de rejeitos advindos do processo de beneficiamento dessas rochas que, por vezes, são depositados de maneira inadequada em locais que interferem no meio ambiente, direta ou indiretamente, a curto, médio ou a longo prazo.

O emprego do resíduo de rochas ornamentais na fabricação de tijolos de solo-cimento vem como alternativa para mitigar os impactos ambientais causados, assim como já ocorre nas indústrias de produção de cerâmica e vidro. Tendo como principal diferencial, a desnecessidade do processo de queima para a fabricação dos blocos, uma vez que são moldados e prensados, eliminando, com isso, a geração de CO<sub>2</sub> e outros gases ou partículas que possam ser lançadas na atmosfera.

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de corpos de prova de concreto simples, produzidos com rejeitos a partir do beneficiamento de mármore/granitos. Foram realizados ensaios de caracterização física do resíduo, slump teste e o ensaio de resistência a compressão. Posteriormente foram moldados os corpos de provas em moldes cilíndricos nas dimensões de 10 cm x 20 cm, com substituição do agregado miúdo convencional por rejeitos de mármore nos teores de 5%, 10% e 15% em peso. Por fim, foi realizada a determinação das propriedades mecânicas na idade de cura de 14 dias. Observou-se que, apesar de haver uma diminuição da trabalhabilidade, não ocorreram modificações significativas nas propriedades mecânicas dos corpos de provas incorporados com o resíduo de mármore, e os valores obtidos satisfazem os parâmetros normativos.

**Palavras-chave:** Resíduos, rochas ornamentais, tijolo, solo-cimento, meio-ambiente.

## ABSTRACT

The ornamental stone industry in Brazil is one of the largest in the world, with constant growth year after year, guaranteeing itself strong in the competitive market, directly collaborating in the improvement of human lives with the generation of new jobs. However, there is a significant production of tailings arising from the processing of these rocks which are, sometimes, improperly deposited in places that interfere with the environment, directly or indirectly, in the short, medium or long term.

The usage of ornamental stone waste in the manufacture of soil-cement bricks comes as an alternative to mitigate the environmental impacts caused, as is already the case in the ceramic and glass industries. Its main differential is the unnecessary burning process for the manufacture of blocks, since they are molded and pressed, thus, eliminating the generation of CO<sub>2</sub> and other gases or particles that could be released into the atmosphere.

Thus, this work aims to evaluate the physical and mechanical properties of simple concrete samples, produced with tailings from the processing of marble/granite. Residue physical characterization tests, slump tests, and compressive strength tests were performed. Subsequently, the specimens were molded in cylindrical molds in the dimensions of 10 cm x 20 cm, with the replacement of the conventional fine aggregate by marble rejects at the levels of 5%, 10%, and 15% of weight. Finally, the mechanical properties were determined at the curing age of 14 days. It was observed that, despite the decrease of workability there were no significant changes in the mechanical properties of the specimens incorporated with the marble residue, and the values obtained to satisfy the normative parameters.

**Keywords:** Waste, ornamental rock, brick, soil-cement, environment.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – (1.a) Matriz cimenticia, (1.b) Agregado miudo, (1.c) Agregado Graudo	15
<b>Figura 2</b> – (2.a) Tijolo ecologico, (2.b) Blocos de vedação, (2.c) Cobogramas.	17
<b>Figura 3</b> – Extração de granito e marmore sem recuperação ambiental	19
<b>Figura 4</b> – Residuos alocados de maneira inadequada	19
<b>Figura 5</b> – Desperdicio nas etapas produtivas das rochas ornamentias.	20
<b>Figura 6</b> – (6.a) Areia natural de rio, (6.b) Residuo de marmore	24
<b>Figura 7</b> – Triangulo textural detalhado	24
<b>Figura 8</b> – (8.a) Rejeitos de marmore, (8.b) Processo de Ornamentação, (8.c) Secagem na estufa e (8.d) Destorroamento do material após secagem.	26
<b>Figura 9</b> – Distribuição de peneiras granulometricas.	27
<b>Figura 10</b> – Slump Test	28
<b>Figura 11</b> – Ensaio slump test realizado para o concreto em estudo	28
<b>Figura 12</b> – Prensa Hidraulica.	29
<b>Figura 13</b> – Triangulo textural detalhado	31

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Tipos de matrizes utilizadas em compostos.	16
<b>Quadro 2</b> – Origem das perdas na cadeia produtiva do setor de rochas.	20
<b>Quadro 3</b> – Dosagem do concreto.	25
<b>Quadro 4</b> – Abatimento específico para cada tipo de obra.	29
<b>Quadro 5</b> – Percentual passante acumulado.	31
<b>Quadro 6</b> – Slump test do concreto em estudo.	32
<b>Quadro 7</b> – Ensaio de resistência a compressão.	35
<b>Quadro 8</b> – Resultado de resistência a compressão/Desvio padrão.	35

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Curva de distribuição granulométrica do resíduo	30
<b>Gráfico 2</b> – Gráfico de dispersão CREF	33
<b>Gráfico 3</b> – Gráfico de dispersão RMG 5%	33
<b>Gráfico 4</b> – Gráfico de dispersão RMG 10%	34
<b>Gráfico 5</b> – Gráfico de dispersão RMG 15%	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>AAMOL</b>	Associação Ambiental Monte Líbano
<b>ABIROCHAS</b>	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>A/C</b>	Fator Água/Cimento
<b>CP V - ARI</b>	Cimento Portland
<b>kgf</b>	Kilograma-força
<b>mm</b>	Milímetros
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>CREF</b>	Concreto de referência
<b>RMG</b>	Rejeito de Mármore e granito

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1 GERAL.....	13
2.2 ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
4.1 MATERIAIS COMPOSITOS.....	15
4.2 APLICAÇÃO DE COMPOSITOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	16
4.2.1 TIJOLOS / BLOCOS .....	16
4.2.2 ARGAMASSA .....	17
4.2.3 MURO DE ARRIMO .....	18
4.3 GESTÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	18
4.4 RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	19
4.4.1 RESÍDUOS DO SETOR.....	20
<b>5. FATORES DE INFLUÊNCIA DO AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO</b> .....	<b>22</b>
<b>6 TRIÂNGULOS TEXTURAIS</b> .....	<b>24</b>
<b>7 METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
7.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA UTILIZADA.....	25
7.2 TRAÇO .....	25
7.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	26
7.4 ENSAIO GRANULOMÉTRICO.....	27
7.5 TRABALHABILIDADE DO CONCRETO .....	28
7.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....	29
<b>8 RESULTADOS</b> .....	<b>30</b>
8.3 RESULTADO DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	33
<b>9 CONCLUSÕES</b> .....	<b>36</b>
<b>10 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos são formados pela união de outros materiais com o objetivo de se obter um produto de maior qualidade. As fases dos compósitos são chamadas de matriz – que pode ser cerâmica, polimérica e metálica – e a fase dispersa – geralmente fibras ou partículas que servem como carga. Esse seguimento têm uma vertente importantíssima e vem dominando o contexto em todos os campos de pesquisa que é a utilização de resíduos, principalmente os gerados massivamente por processos industriais. A indústria de rochas ornamentais no Brasil é uma área promissora, apresentando um crescimento médio na produção mundial estimado em 6% ao ano nos últimos, gerando ao mesmo tempo a quantidade estimada de resíduos de granito e mármore em torno de 240.000 toneladas/ano divididas entre os estados do Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba. (ABIROCHAS, 2010).

O processo produtivo das rochas ornamentais envolve complexidade desde a exploração das jazidas, passando pelo beneficiamento (serragem e polimento) até o armazenamento e o transporte. Em todos os subsistemas sempre existem causas e impactos sobre o meio ambiente (água, ar e solo), e no beneficiamento das rochas nas quais são geradas quantidades expressivas de resíduos (ABIROCHAS, 2013).

A tecnologia entra como aliada para a criação de materiais compósitos fazendo com que os rejeitos antes eram despejados em locais variados acarretando um impacto ambiental quase irreversível, agora possam ser usados em diversos usos na construção civil, exemplo: blocos de vedação, pisos intertravados, revestimento cerâmico e pintura texturizada. Assim possibilitando a produção e aplicação destes compósitos de forma sustentável.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

O objetivo deste trabalho é estudar a influência da proporção de resíduo de mármore e granito no concreto simples, fazer análises das propriedades mecânicas para determinar as quantidades ideais a serem estudadas para cada proporção adequada. Através de estudos comparativos de resistência mecânica a partir de ensaios de compressão normal usando prensa hidráulica. Os ensaios foram realizados em laboratório com equipamentos adequados para análise dos compósitos, visando obter resultados mais precisos nos ensaios.

### 2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar o resíduo da rocha ornamental;
- Avaliar a melhor composição de resíduos de mármore;
- Determinar a granulometria do resíduo;
- Determinar a consistência através do slump test;
- Determinar a resistência do corpo de prova;
- Analisar os resultados obtidos dos ensaios de compressão;
- Verificar se sua aplicação na construção civil é viável.

### **3 JUSTIFICATIVA**

Esse estudo foi elaborado tendo em vista a presença abundante de resíduos de mármore que são descartados e podem impactar negativamente o meio ambiente. Desta forma o trabalho procura impactar tanto no âmbito econômico e ambiental, de forma que desperte interesse de grandes empresas de mármore no aproveitamento do seu resíduo e o transforme em um produto, quanto nas empresas da construção em procurar essa tecnologia para a construção econômica e com qualidade, além da retirada de resíduos da produção de granito do meio ambiente.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este estudo fornece os dados sobre o tema escolhido que servirão como elementos auxiliares no entendimento acerca da análise proposta.

### 4.1 MATERIAIS COMPOSITOS

Os materiais compósitos são, cada vez mais, utilizados pela sociedade em geral e, especificamente, pela engenharia civil. O próprio concreto, principal material de construção, atualmente é reconhecido como um material compósito, no qual partículas de agregados figura 1.b e 1.c se encontram ligadas por uma matriz cimentícia (Figura 1.a) (SILVA FILHO e GARCEZ, 2010).



**FONTE:** Deamorim (2022).

Os materiais compósitos são originados da combinação de dois ou mais materiais de forma heterogênea, geralmente uma matriz e um reforço, que apresentam propriedades distintas dos seus constituintes. Muitas vezes esses materiais são formados para gerarem propriedades específicas não alcançadas pelos materiais de forma individual. Os compósitos são usualmente classificados pela natureza dos materiais que os compõem e estão divididos em duas grandes categorias: compósitos naturais e sintéticos. (CALLISTER, 2012).

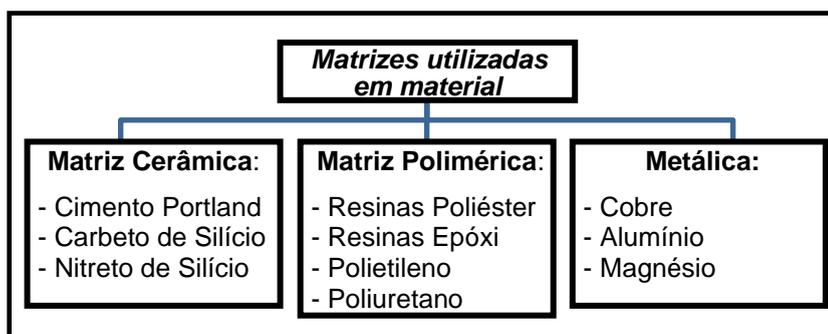
Na engenharia civil, as matrizes mais usadas atualmente são as cerâmicas, com destaque para as cimentícias, a partir das quais são geradas praticamente todas as argamassas e concretos. Porém, estão sendo cada vez mais estudadas e empregadas as matrizes poliméricas, especialmente quando reforçadas com fibras. Em algumas aplicações especiais, são utilizadas também as matrizes metálicas (SILVA FILHO e

GARCEZ, 2010).

O comportamento e as propriedades dos materiais compósitos derivam das especificidades dos materiais componentes, tais como os tipos de matriz e de reforço, a interface matriz-reforço, a geometria do reforço (forma, tamanho, distribuição e orientação) e as proporções relativas (matriz e reforço). Assim, pela escolha adequada da matriz e do reforço, é possível obter um compósito com propriedades específicas para determinada aplicação.

As matrizes utilizadas em compósitos podem ser cerâmicas, poliméricas e metálicas quadro 1.

**QUADRO 1** – Tipos de matrizes utilizadas em compósitos.



FONTE: Callister (2012).

## 4.2 APLICAÇÃO DE COMPOSITOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

### 4.2.1 TIJOLOS / BLOCOS

No aproveitamento (reciclar) o resíduo de corte de granito e o resíduo de polimento em misturas com argilas para a confecção de tijolos cerâmicos. Estudaram a utilização dos resíduos proveniente do corte/ ou polimento de granito de duas empresas diferentes e argila utilizada em cerâmica vermelha. No seu método de pesquisa, foram realizados os seguintes ensaios: absorção de água; massa específica aparente; porosidade aparente, e resistência à compressão simples. A partir dos resultados preliminares obtidos, conclui que os valores para os resíduos estudados estão em conformidade para uso em cerâmica vermelha (NEVES et al., 1999).

O tijolo ecológico é feito com a lama decorrente do beneficiamento de rochas. Essa

é uma maneira de tirar os resíduos da natureza, tendo a ideia de que quanto mais blocos estruturais/vedação, pisos intertravados, cabogramas e entre outros como demonstrado na figura 2.a, figura 2.b e figura 2.c, mais resíduos são retirados da natureza.

**FIGURA (2.a):** Tijolo ecológico.



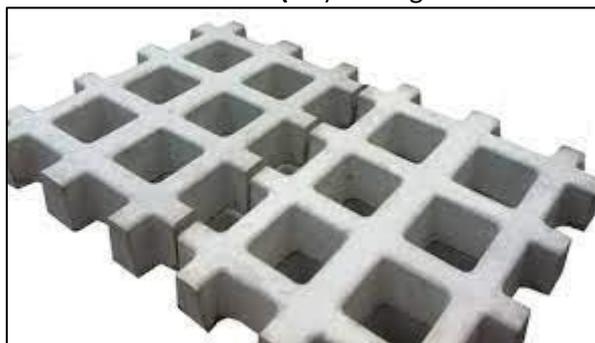
**FONTE:** Matriz Cerâmica (2012)

**FIGURA (2.b):** Blocos vedação.



**FONTE:** Simpequi (2011)

**FIGURA (2.c):** Cobogramas.



**FONTE:** Pará blocos (2022)

Visaram a fabricação de blocos cerâmicos vazados, conformados por extrusão, empregando como matéria-prima a lama proveniente da serragem do mármore e do granito em até 30%. Foi utilizado um resíduo contendo tanto mármore quanto granito, porém não foi especificada sua predominância. Tendo em vista os ensaios físicos, os melhores resultados foram obtidos nas porcentagens de 5 e 10% de adição de resíduo (MOTHÉ e POLIVANOV, 2003).

#### 4.2.2 ARGAMASSA

SILVA (1998), estudou a caracterização da lama proveniente da serragem do bloco de granito, portanto, a substituição da cal por resíduo, a partir dos experimentos realizados, leva a pensar que o resíduo está se comportando como “fíler”. Isto aponta

para a direção que o resíduo poderá ser utilizado na melhoria das propriedades de outras argamassas que não somente as de assentamento.

A argamassa é feita a partir da lama proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais onde pode ser empregada até 50%, esse resíduo consegue substituir somente parte do cimento e da areia, pois a consistência da argamassa diminui à medida em que se aumenta a quantidade de resíduo (AAMOL, 2016).

#### **4.2.3 MURO DE ARRIMO**

De acordo com Sousa (2007), Empresas tem aproveitado as placas resultantes do corte de blocos de granito, inicialmente sem valor comercial, e denominado “casqueiros”, para construção de muro de arrimo.

Observando por este lado, fica certo a relevância dos trabalhos realizados e dos que estão em andamento, uma vez que, das 10 empresas visitadas na cidade de Mariana, São João Del Rei e Ouro Preto, seis encaminhavam seus resíduos para lixões e aterros, de forma irregular, muitas vezes utilizando os caminhões da própria empresa (OLIVEIRA, 2015).

#### **4.3 GESTÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Em meio a tantas exigências do mercado, os institutos de pesquisa, o governo e empresários tem feito um trabalho relevante para atender à necessidade e o rigor das leis ambientais. Observa-se um esforço razoável no sentido de fomentar a pesquisa e projetos que procurem soluções para a reutilização dos resíduos provenientes da indústria de rochas ornamentais no Brasil e, particularmente, no Espírito Santo, o maior produtor do país. Muitas empresas não têm capacidade para investir em tecnologias voltadas para o reaproveitamento destes resíduos, mas isso não é motivo para a organização descartar esta lama no meio ambiente. Atualmente existem várias associações, com o apoio dos órgãos regulamentadores, que recebem lama de várias empresas, depositando em uma área apropriada. Muitas dessas associações trabalham em cima da ideia do reaproveitamento desse resíduo, que atualmente é um grande investimento com foco na área de construção civil.

#### 4.4 RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Os resíduos são uma das maiores preocupações no setor de rochas, para um país com uma produção vigente como o Brasil tem uma alta produção de resíduos que agridem os rios e que desfiguram a paisagem. O sistema de desdobramento de blocos de granito para a produção de chapas e no polimento gera uma quantidade significativa de rejeitos na forma de lama, 20 a 25% dos blocos, geralmente constituída de água, granalha cal e de rocha moída, que após o processo são lançadas em aterros, beira de córregos, lagos gerando uma grande preocupação para a fiscalização e a sociedade devido à contaminação do solo, dos corpos hídricos e da poluição visual (Figuras 3 e 4)

**FIGURA 3** – Extração de granito e mármore sem recuperação ambiental



**FONTE:** Patrik Camporez e Rota da Bairrada (2019).

**FIGURA 4** – Resíduos alocados de maneira inadequada

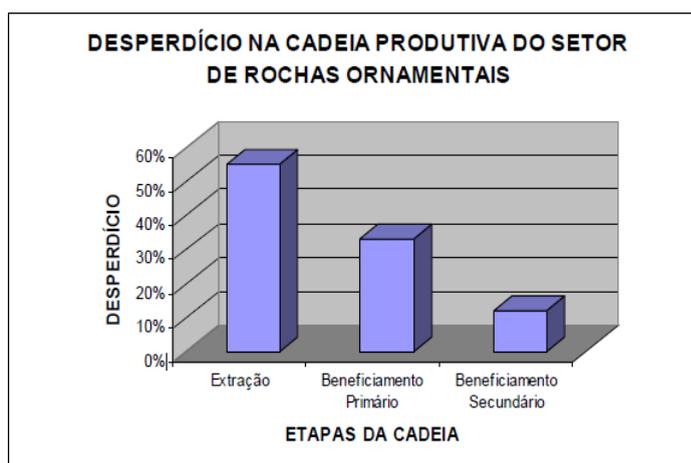


**FONTE:** Ambientalis (2019).

#### 4.4.1 RESÍDUOS DO SETOR

Devido às atividades realizadas na exploração das rochas são produzidos inúmeros resíduos, embasado em Villaschi e Sabadine (2000) figura 5, mostrando os percentuais médios destes desperdícios, e no quadro 2 com a origem destas perdas (OLIVEIRA, 2015).

**FIGURA 5 –** Desperdícios nas etapas produtiva das rochas ornamentais



**FONTE:** Oliveira (2015).

**QUADRO 2:** 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"> <li>• Blocos com dimensões não padronizadas;</li> <li>• Cacos de pedra e pó.</li> </ul>
BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO (SERRARIA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imperfeições dos casqueiros (laterais dos blocos);</li> <li>• Quebras de placa por falhas no empilhamento;</li> <li>• Serragem de placas defeituosas.</li> </ul>
BENEFICIAMENTO SECUNDÁRIO (MARMORARIA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retalhos de rocha</li> <li>• Pó de serraria (lama)</li> <li>• Pó de marmoraria (lama)</li> </ul>

**FONTE:** Oliveira (2015)

Segundo Oliveira (2015), setor de rochas ornamentais é responsável por três tipos principais de resíduo conforme a seguir:

- Retalhos de rocha: este tipo de resíduo é originado de sobras e quebras de peças, chegando a alcançar uma perda de 10% a 20%. Estes fragmentos muitas vezes são jogados no pátio da própria empresa. Algumas empresas doam estes fragmentos, porém outras os retrabalham confeccionando produtos alternativos como, por exemplo, enfeites, puxadores de gavetas e armários etc.

- Pó de serraria (lama): é o pó proveniente da serragem dos blocos de rochas (após a extração), além do polimento e lustro das chapas. Este pó é o resíduo gerado em maior quantidade, chegando a atingir entre 30% e 40% em volume dos blocos serrados conforme GOBBO (2004).
- Pó de marmoraria (lama): esta ocorre em forma de partículas finas formadas a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas geradas nas serrarias. Estas peças podem ser tanto personalizadas, como pias, balcões etc., como também padronizadas, como placas, revestimentos, peitoris entre outros.

De acordo com GOBBO (2004), esta lama é produzida em 2% do total de volume processado, o que a princípio parece pouco, porém pensando na produção de um mês, bem como de várias empresas, é possível justificar seu estudo neste trabalho, uma vez que o Estado de São Paulo, conforme MELLO (2004), produziu cerca de 336.000 t de rochas ornamentais no ano de 2003, isso significa aproximadamente 7.000 t de lama.

Este pó residual de marmoraria (lama) é normalmente armazenado em tanques subterrâneos, e sua retirada é realizada em sua maioria com pá e transportada por caminhões. No caso deste trabalho, o pó residual de marmoraria foi retirado do próprio tanque, utilizando-se uma lata.

## 5 FATORES DE INFLUÊNCIA DO AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Os agregados miúdos utilizados na produção de concretos são basicamente as areias naturais provenientes dos leitos dos rios e os agregados artificiais oriundos da britagem de rocha. A principal diferença entre estes dois agregados está no formato de seus grãos. Sabe-se que as características dos agregados têm significativa influência nas propriedades do estado fresco e endurecido do concreto. (IBRACON, 2011).

Do ponto de vista tecnológico, segundo Mehta & Monteiro (1994) e Neville (1997), as características dos agregados graúdos e miúdos afetam principalmente a estabilidade dimensional, resistência, durabilidade e trabalhabilidade dos concretos de cimento Portland, justificando o cuidado com sua escolha. Muitas destas características dependem inteiramente das propriedades da rocha matriz, como por exemplo, composição química e mineralógica, características petrográficas, massa específica, dureza, resistência, estabilidade química e física e estrutura de poros. Por outro lado, existem características que, dentre outros fatores, dependem do tipo de britagem empregado, sendo elas: forma e textura superficial das partículas, absorção, tamanho e composição granulométrica do agregado. Todas estas propriedades podem ter influências na qualidade e desempenho do concreto, tanto no estado fresco como endurecido, e precisam ser estudadas.

“O agregado é o principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto” (MEHTA e MONTEIRO, 1994:21).

Desta forma, as características mais importantes de um agregado são: sua massa específica, massa unitária, forma, textura, granulometria, resistência à compressão e abrasão, absorção de água, umidade e sanidade. A composição química da rocha é menos importante que sua característica física, quando não são detectados elementos reativos com o cimento ou meio ambiente.

Segundo Andriolo (1984), em um volume de concreto convencional de agregados tanto graúdo como miúdo ocupam cerca de 75% de seu volume.

Dessa forma é inevitável que o material com a porcentagem elevada na massa do concreto deva contribuir nas propriedades do concreto fresco e endurecido. É importante que este material seja estudado, caracterizado e controlado a fim de correlacionar as suas características com as do concreto. Somando-se essas afirmações fica evidenciado que os agregados miúdos são insumos de importância ímpar para que os critérios de aceitabilidade sejam consolidados ao concreto.

Segundo Pimentel (2007), as funções dos agregados são: contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes, ao desgaste e à ação das intempéries, reduzir as variações de volume provenientes de várias causas e reduzir o custo.

Conforme Varela (2012) os agregados são classificados:

a) Quanto à origem

**Naturais:** são os agregados que não sofreram nenhum processo de beneficiamento, sendo encontrado na natureza já na forma particulada e com dimensões aplicáveis a produção de produtos da construção, como argamassas e concretos. Ex.: areia de rio figura 6.a e seixos.

**Artificiais:** são os agregados que sofreram algum processo de beneficiamento por processos industriais, como por exemplo, britagem. Ex.: Rejeito de mármore figura 6.b, britas, argilas expandidas, escória granulada de alto forno, vermiculita.

**FIGURA (6.a):** Areia natural



**FONTE:** IMA (2015)

**FIGURA (6.b):** Resíduo de



**FONTE:** Elaborada pelo autor (2022)

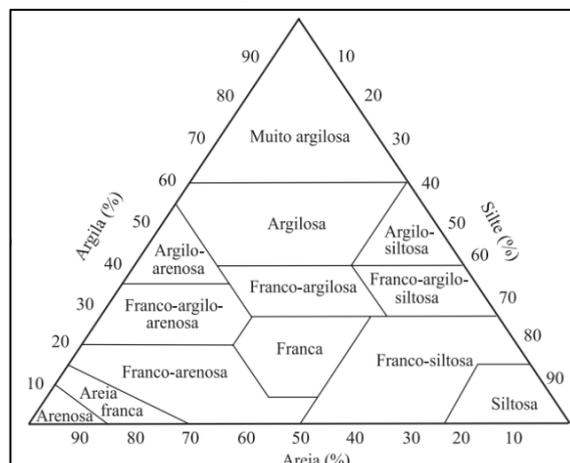
## 6 TRIÂNGULOS TEXTURAIS

As classes texturais são obtidas através dos triângulos texturais, como demonstrado na figura 7.

Sabendo-se os valores das frações areia, silte e argila de uma amostra de solo, e entrando com esses valores no triângulo textural, pode-se determinar a classe de textura do solo.

A grande maioria das classificações texturais adota como sistema de representação gráfica o triângulo equilátero.

**FIGURA 7:** Triângulo textural detalhado



**FONTE:** Molina Jr, Walter. (2017).

## 7 METODOLOGIA

### 7.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA UTILIZADA

Este estudo teve seu desenvolvimento baseado em revisões bibliográficas relacionando a influência da resistência mecânica com proporções diferentes de resíduo de rochas ornamentais, assim como os ensaios realizados no Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

### 7.2 TRAÇO

Todo material obtido foi totalmente oriundo do beneficiamento dos blocos de rocha, para o experimento foram utilizados: resíduos de rocha de mármore e granito, areia lavada do rio, brita 01, cimento CPV-ARI e água tratada da rede pública de abastecimento, para utilizarmos na dosagem do concreto como demonstrado no quadro 3.

**QUADRO 3:** Dosagem do concreto

TEOR DE RESIDUO (%)	TEOR DE RESIDUO	CIMENTO	AREIA	BRITA	FATOR A/C
0	0	1	2	3	0,61
5	0,1	1	1,9	3	0,61
10	0,2	1	1,8	3	0,61
15	0,3	1	1,7	3	0,61

**FONTE:** Elaborada pelo autor (2022)

Foram produzidos 28 corpos de provas, 7 para cada tipo de traço. Os corpos de prova, foram moldados em moldes cilíndricos. Assim, deixando-o por 24 horas no ambiente e depois imerso em água para cura de 14 dias. Para a produção do traço, substituímos parcialmente o agregado miúdo (areia), em porcentagens de 5,10 e 15 por rejeito de mármore.

### 7.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para fabricação dos corpos de prova foi utilizado em média de 20 kg de resíduos de mármore/granito.

A figura 8.a, refere-se ao resíduo de mármore/granito (lama) recolhido de marmorarias obtidas pelo processo de ornamentação como mostra a figura 8.b, submetida a secagem na estufa figura 8.c.

**FIGURA (8.a)** Rejeito de



**FONTE:** Elaborada pelo autor

**FIGURA (8.b)** Processo de ornamento



**FONTE:** APOLONIO (2022)

**FIGURA (8.c)** Secagem na estufa



**FONTE:** Elaborada pelo autor

Após realizado a secagem do material o rejeito passa pelo processo de o destorroamento figura (8.d), e em seguida é realizada a etapa de purificação através de peneiramento, com o objetivo de remover quaisquer rejeitos que não sejam derivados da rocha, como plásticos entre outros, resultando assim no pó da rocha ou resíduo da rocha.

Realizadas todas as etapas, iniciamos o ensaio granulométrico para assim determinar a que grupo pertence o rejeito analisado.

**(8.d)** – Destorroamento do material após secagem



**FONTE:** Elaborada pelo autor

## 7.4 ENSAIO GRANULOMÉTRICO

O ensaio de granulometria é o processo que consiste em determinar a porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica e determinar a que tipo de solo pertence (arenoso, argiloso dentre outros), tão importante para a classificação dos solos. A determinação da granulometria foi baseada de acordo com a norma brasileira (NBR) 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica, as peneiras foram distribuídas na ordem de 2 mm, 1,18 mm, 0,85 mm, 0,6 mm, 0,425 mm, 0,3 mm, 0,250 mm, 0,180 mm, 0,150 mm, 0,075 mm e fundo figura 9, o estudo teve como objetivo avaliar a aproximação do material estudado com o agregado miúdo (areia).

**FIGURA 9** – Distribuição de peneiras granulométricas.



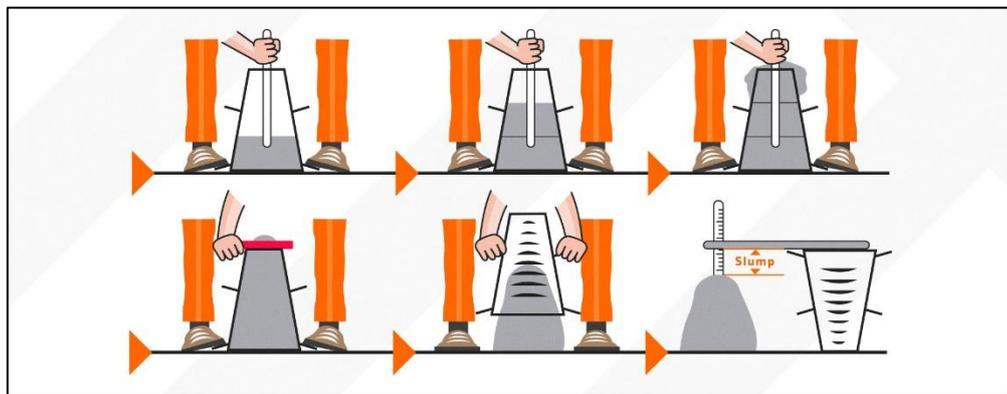
**FONTE:** Elaborada pelo autor (2022)

## 7.5 TRABALHABILIDADE DO CONCRETO

O ensaio para determinação da consistência do concreto - Slump Test foi realizado de acordo com a associação brasileira de normas técnicas (ABNT) NBR NM 67. Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Desta forma, o concreto foi dividido em três camadas individuais compactadas com 25 golpes de haste cada, em um tronco de cone com altura de 30cm. Após compactar as três camadas, o excesso de concreto foi removido e o tronco de cone foi retirado lentamente como demonstrado na figura 10.

**FIGURA 10:** Ensaio de slump test



**FONTE:** Queveks (2022)

A Figura 11 ilustra o ensaio de Slump Test realizado para o concreto em estudo.

**FIGURA 11:** Ensaio de slump test realizado para o concreto em estudo



**FONTE:** Elaborada pelo autor (2022)

O Quadro 4 apresenta o abatimento necessário em função do tipo de obra e do processo de adensamento.

**QUADRO 4** – Abatimento específico para cada tipo de Obra

Consistência	Abatimento (mm)	Tipos de obra e Condições de adensamento
Extremamente Seca	0	Pré-fabricação. Condições especiais de adensamento
Muito Seca	0	Grandes massas; pavimentação. Vibração muito energética
Seca	0 a 20	Estrutura de concreto armado ou protendido. Vibração energética
Rija	20 a 50	Estruturas correntes. Vibração normal
Plástica	50 a 120	Estruturas correntes. Adensamento manual
Úmida	120 a 200	Estruturas correntes sem grandes responsabilidades. Adensamento manual
Fluida (líquida)	200 a 250	Concreto inadequado

Fonte: TARTUCE, 1990.

## 7.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O ensaio de resistência a compressão é normatizado pela NBR-5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Onde o corpo de prova é posto na prensa hidráulica figura 12, após 14 dias de cura por imersão, aplicando uma força axial em seu topo, após o rompimento de cada corpo de prova, se obtém o valor máximo suportado por cada um deles, expresso em kgf/cm<sup>2</sup> ou transformado para MPa.

**FIGURA 12** – Prensa Hidráulica.



FONTE: Elaborada pelo autor (2022)

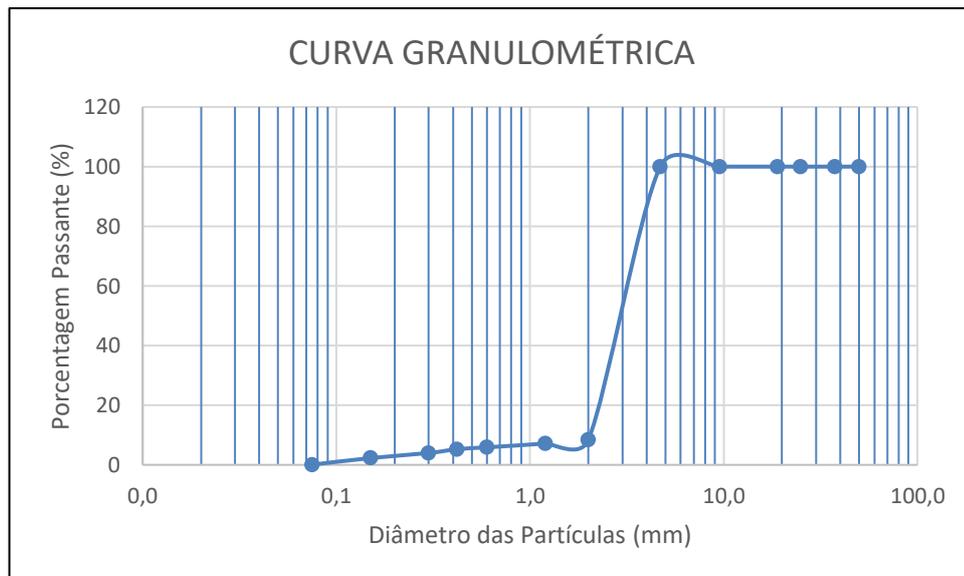
## 8 RESULTADOS

### 8.1 Análise Granulométrica

A curva granulométrica demonstrada no gráfico 1, mostra a grande quantidade de rejeito retido entre as peneiras de 2mm a 0,075mm.

Após análise da curva granulométrica, foi observado que o rejeito de mármore e granito (RMG) é equivalente ao agregado miúdo (Areia). Assim, tornando-o adequado para ser utilizado parcialmente no traço.

**GRÁFICO 1 –** Curva de distribuição granulométrica do resíduo



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

No quadro 5 podemos analisar o percentual passante e acumulado nas peneiras.

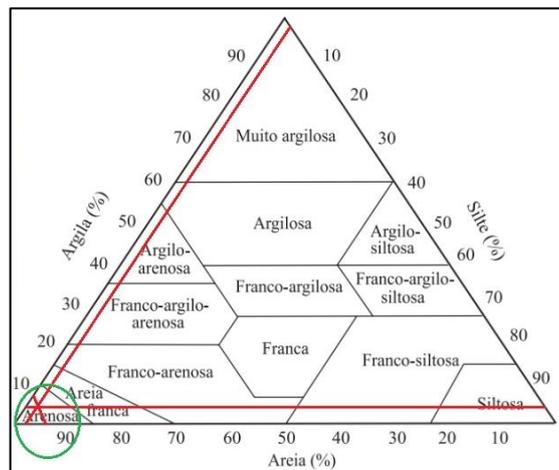
**QUADRO 5** - Percentual passante acumulado

ABERTURA (MM)	PERCENTUAL PASSANTE ACUMULADO (%)
50,0	100
37,5	100
25,0	100
19,0	100
9,5	100
4,7	100
2,0	8
1,200	7,15
0,600	5,89
0,420	5,25
0,300	3,99
0,150	2,27
0,075	0,06

**FONTE:** Elaborada pelo autor (2022)

O rejeito de mármore está caracterizado como agregado miúdo, entrando na classificação como areia, como descrito no triângulo textural detalhada figura 13.

**FIGURA 13** - Triângulo Textural detalhado



**FONTE:** Embrapa (2006)

## 8.2 Trabalhabilidade

O quadro 6 apresenta os resultados obtidos para o Slump Test do concreto em estudo. Com base nos resultados obtidos, podemos analisar que o traço com substituição de 15% do agregado miúdo, teve sua consistência caracterizada como seca, podendo ser utilizada em estrutura de concreto armado ou protendido. Já o concreto de referência e os demais traço de 5% e 10% ficaram caracterizado como consistência rija, e assim podendo ser utilizado em estruturas correntes.

**QUADRO 6:** Slump test do concreto em estudo

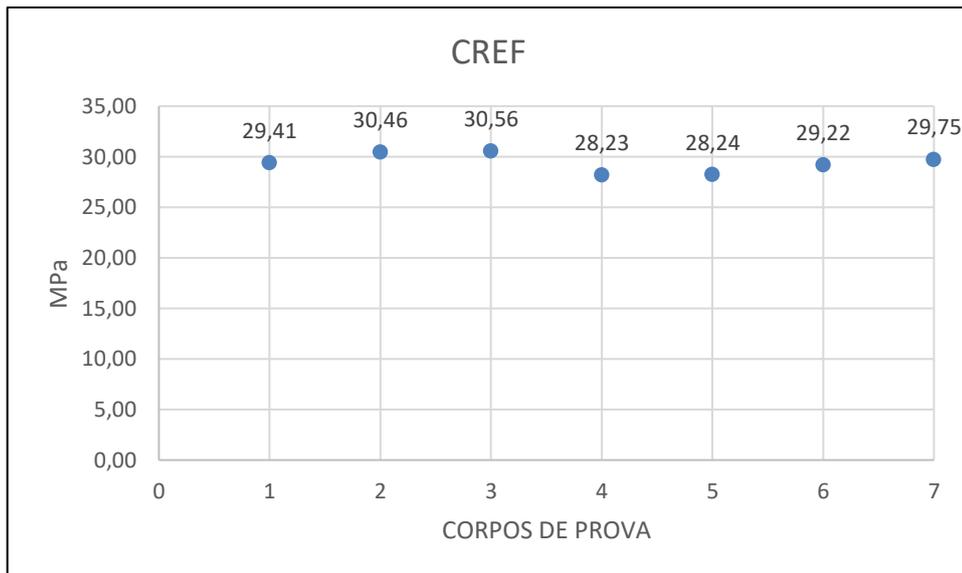
<b>Concreto</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
CREF -Concreto de referência	35
C5% Rejeito	50
C10% Rejeito	30
C15% Rejeito	12

**FONTE:** Elaborada pelo autor (2022)

### 8.3 RESULTADO DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

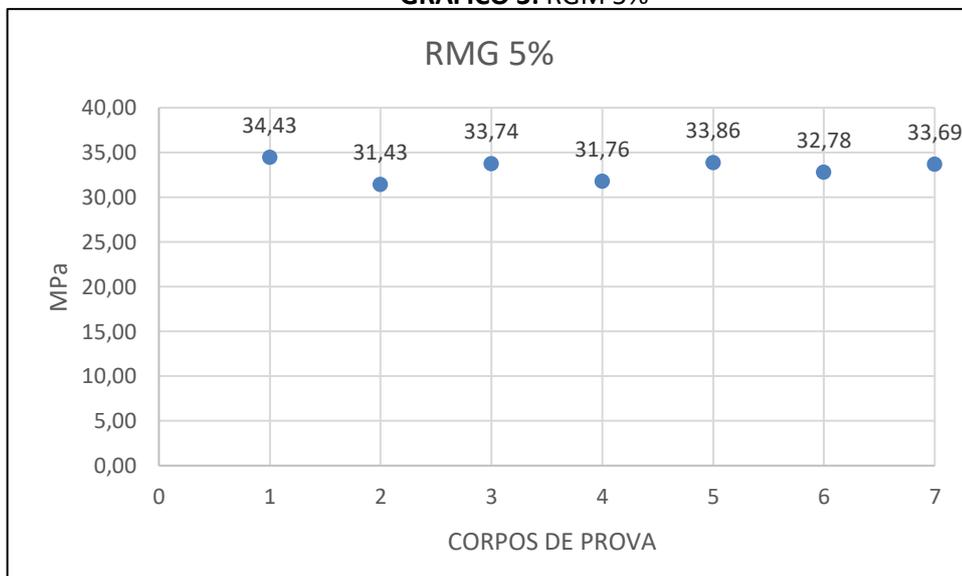
Para a avaliação dos resultados laboratoriais, foram elaborados gráficos de dispersão do seguintes traços: Concreto de referência (CREF), gráfico 2 RMG 5%, gráfico 3 RMG 10% E gráfico 4 RMG 15%, assim analisando os resultados de 28 corpos de provas que foram rompidos. Em cada etapa foram rompidos 7 corpos de prova, cuja análise de resultados está expresso no gráfico de dispersão 2 ,3, 4 e 5.

**GRÁFICO 2: CREF**

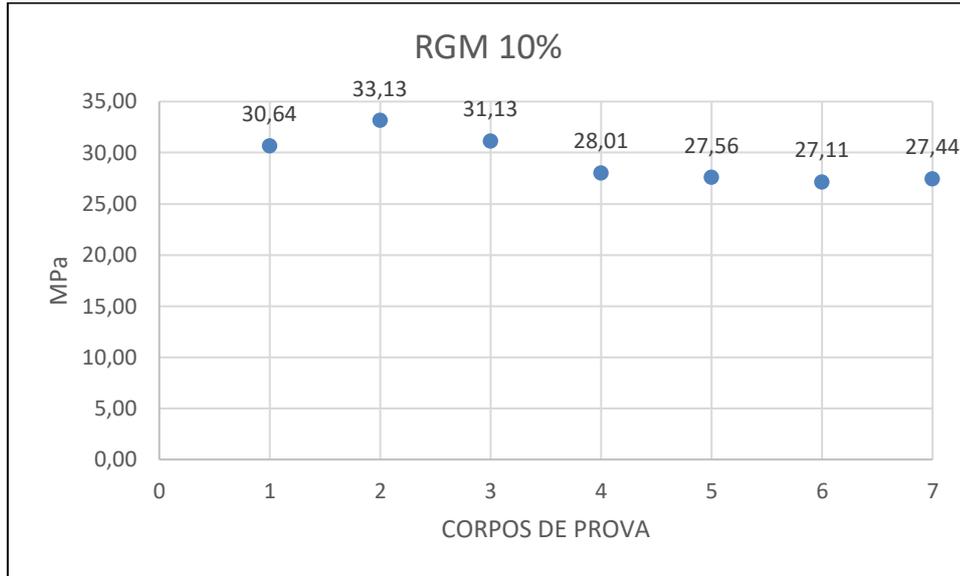


**FONTE:** Elaborada pelo autor (2022)

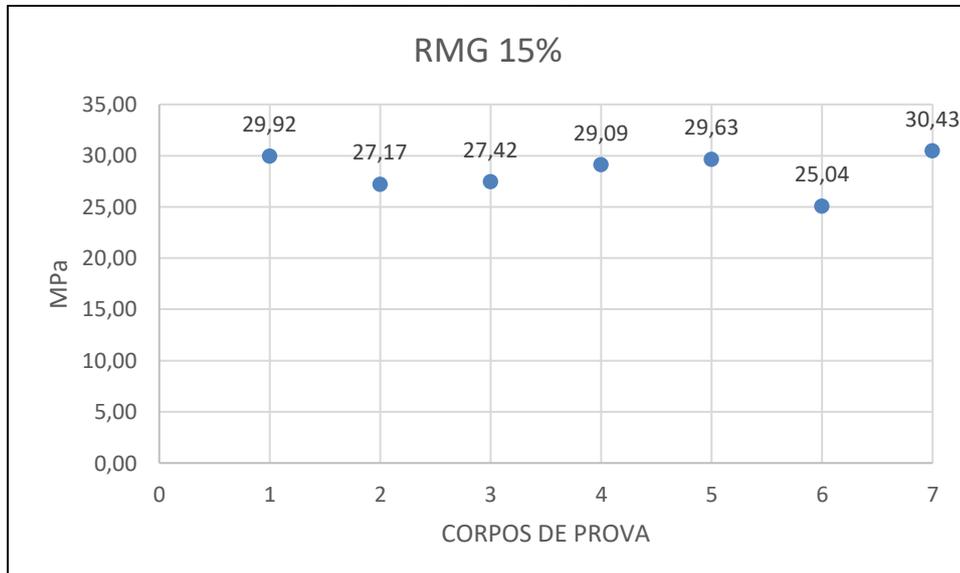
**GRÁFICO 3: RGM 5%**



**FONTE:** Elaborada pelo autor (2022)

**GRÁFICO 4: RMG 10%**

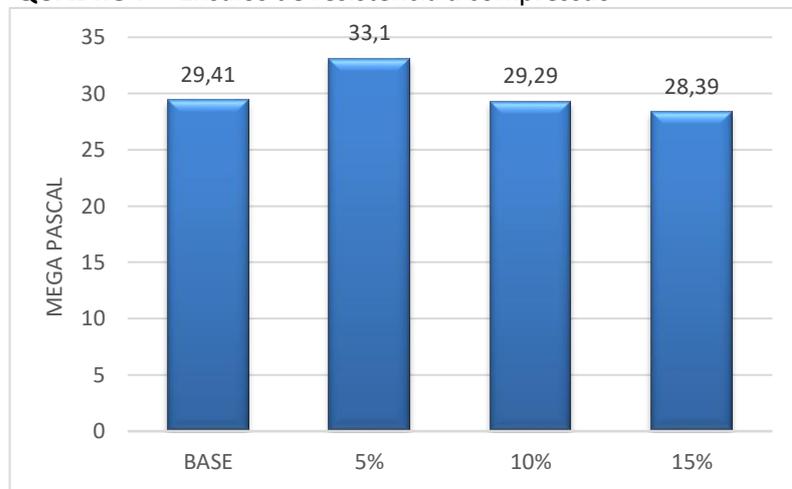
FONTE: Elaborada pelo autor (2022)

**GRÁFICO 5: RMG 15%**

FONTE: Elaborada pelo autor (2022)

Conforme mostrado no Quadro 7, podemos analisar os resultados do ensaio de resistência a compressão dos corpos de provas e o seu desvio padrão.

**QUADRO 7 – Ensaio de resistência à compressão**



**FONTE:** Elaborada pelo autor

**QUADRO 8 – Resultados de resistência à compressão/Desvio padrão**

	BASE	5%	10%	15%
Resultado Mpa	29,41	33,09	29,28	28,38
Desvio Padrão	±0,94	±1,13	±2,33	±1,92

**FONTE:** Elaborada pelo autor (2022).

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a substituição do agregado miúdo convencional (Areia) por 5% RMG, promoveu a elevação da resistência à compressão simples em comparação com as demais porcentagens.

Notou-se que o traço que teve 5% de rejeito substituído teve um ganho de resistência a compressão de 12,51% a mais em relação ao concreto de referência.

O traço com substituição de 10% de rejeito teve uma perda de resistência de 0,44% em comparação ao concreto de referência.

O traço com substituição de 15% de rejeito teve uma perda de resistência de 3,5% em comparação ao concreto de referência.

## 9 CONCLUSÕES

Podemos concluir que com o aumento de RMG nos traços que tiveram a substituição do agregado miúdo (Areia) por RMG, a sua consistência tende a diminuir, ocasionando uma piora da sua trabalhabilidade e assim fazendo com que o concreto perca sua resistência a compressão proporcionalmente.

Após resultados da resistência à compressão simples, a substituição do agregado miúdo convencional por 5% rejeitos de mármore/granito proporcionou ao concreto, desempenho superior em comparação ao concreto de referência que seu valor de resistência foi de 29,41 MPa.

Notou-se que o traço que teve 5% de rejeito substituído teve um ganho de resistência a compressão de 12,51% a mais em relação ao concreto de referência.

O traço com substituição de 10% de rejeito teve uma perda de resistência de 0,44% em comparação ao concreto de referência.

O traço com substituição de 15% de rejeito teve uma perda de 3,5% em comparação ao concreto de referência.

Mostrando que ainda com o aumento de RMG em seus traços, não teve perda significativa de resistência a compressão, demonstrando que ainda com a substituição de 15%, a perda foi menor que 5% tornando-se aceitável para a aplicação na construção civil.

A utilização dos rejeitos de mármore e granito como substituinte ao agregado convencional se apresenta como uma alternativa viável para inserção de um material em um novo ciclo produtivo, além de obter ganhos de resistência mecânica para o concreto. Dentre as formas existentes que visam à redução do impacto ambiental causado pela geração de rejeitos industriais uma das que apresenta maiores vantagens é a reciclagem.

## 10 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Analisar a relação entre custo e benefício para utilização do RMG como substituinte de agregados na composição do concreto;
- Realizar a substituição total dos agregados convencionais por rejeitos de mármore e granito;
- Estudar a viabilidade da utilização de RMG para produção de concreto de alto desempenho.

## REFERÊNCIAS

ANDRIOLO, F.R. Construções de Concreto: Manual de Práticas para Controle e Execução. São Paulo, (1984).

Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS. **Balanco sucinto das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento**. São Paulo – SP, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 4 p. Disponível em: <http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/NBR-05739-94-Ensaio-de-Compress%C3%A3o-de-Corpos-de-Prova-Cil%C3%ADndricos-de-Concreto.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8 p. Disponível em: [http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%20NM%2067%20-%2098\\_aula.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%20NM%2067%20-%2098_aula.pdf). Acesso em: 26 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003. 6 p. Disponível em: [http://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosupload/17827/material/br\\_nm248\\_2003.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosupload/17827/material/br_nm248_2003.pdf). Acesso em: 26 jun. 2022.

CALLISTER, Willian D., 1940 - **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**/ Wilian D. Callister, Jr., David G. Rethwisch; tradução: Sérgio Murilo Stamile Soares; revisão técnica José Roberto Morais d’Almeida – Rio de Janeiro: LTC, 2018 – 8ª edição.

GOBBO, L. A.; MELLO, I. S. C.; QUEIRÓZ, F. C.; FRASCÁ, M. H. B. O. Aproveitamento de resíduos industriais. **A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo: diretrizes e ações para inovação e competitividade**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2004, p.129-152.

IBRACON. **Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto**. 2011. DISSERTAÇÃO (Engenharia dos materiais) - Ibracon, [S. l.], 2011.

MAIS, Clarice. **Fiscais interditam extração irregular de areia no rio Mundaú**: Draga. 1. ed. Santana do Mundaú, 2015. Disponível em: <https://www.ima.al.gov.br/fiscais-interditam-extracao-irregular-de-areia-no-rio-mundau/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

MATRIZ CERÂMICA (ed.). **Compósitos de Matriz Cerâmicas**: tijolo de adobe. BRASIL, 2022. Disponível em: <http://matrizceramica.blogspot.com/2012/06/um->

pouco-de-historia.html. Acesso em: 13 jun. 2022.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MINERADORA, DEAMORIM. **BRITA**: 01. 1. ed. BRASIL: DEAMORIM MINERADORA, 2022. Disponível em: <https://deamorimmineradora.com.br/produto/brita-1/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2ª Ed. rev. atual. São Paulo: Pini, 1997.

NEVES, GELMIRES; PATRICIO, S. M. R; FERREIRA, H.C.; SILVA, M. C. **Utilização de resíduo da serragem de granitos para confecção de tijolos cerâmicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis.

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.

APOLONIO, ORNAMENTAÇÃO: MARMORES E GRANITO. BRASIL: MARMORES, 2022. Disponível em: <http://apoloniomarmores.com.br/sobre/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

PIMENTEL, Lia Lorena. **Agregados para concreto**. PUC – CAMPINAS. Disponível em: <http://ptdocz.com/doc/441150/agregados-notasde-aula---puc>>. Acesso em: 02/10/2019.

RIBEIRO JUNIOR, Enio. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiania, ano 2015, v. 1, n. 10, 24 abr. 2015. Gerenciamento de obras, tecnologia & qualidade da construção, p. 1-15.

SILVA FILHO, L. C. P. DA; GARCEZ, M. R. Compósitos de Engenharia de Matriz Polimérica. In: ISAIAS C. G. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010.

VARELA, Marcio. **Dosagem do concreto**, 2012. Disponível em: <http://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/materiais-de-construcao/aula-7-dosagem-do-concreto/aula-7-dosagem-do-concreto-texto/view>> Acesso em: 23/09/2019.

VILLASCHI, A. F.; SABADINI, M. S. **Arranjo produtivo de rochas ornamentais (mármore e granito) no Estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro: BNDES, 2000. (Nota Técnica, 15).