



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

**ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND COM DIFERENTES TEORES DE  
SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Polyana Marta da Silva

Campina Grande - PB

2019

**ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND COM DIFERENTES TEORES DE  
SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Polyana Marta da Silva

Orientador: Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais e Ambiente.

Campina Grande, PB.

2019

S586a

Silva, Polyna Marta da.

Argamassa de cimento Portland com diferentes teores de substituição da areia por residuo de rochas ornamentais / Polyna Marta da Silva. - Campina Grande, 2019.

65 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto"

Referências.

1. Lama Abrasiva. 2. Reutilização. 3. Sustentabilidade Ambiental. I. Lopes Neto, José Pinheiro. II. Título.

CDU 621.131.22(043)

## **DEDICO**

À minha irmã (*in. Memorian*) pela saudade deixada em meu coração, sei que se estivesse aqui conosco estaria orgulhosa por mais uma etapa concluída. As minhas filhas, minha razão de viver, por estar seguindo esse propósito. Aos meus pais, pelo exemplo de família que são sempre apoiando meus sonhos e que acreditaram que eu poderia alcançar meus objetivos. A minha tia Fátima Apolinário, pelo apoio e encorajamento para que eu seguisse no caminho certo. Aos amigos que conquistei no decorrer dessa trajetória.



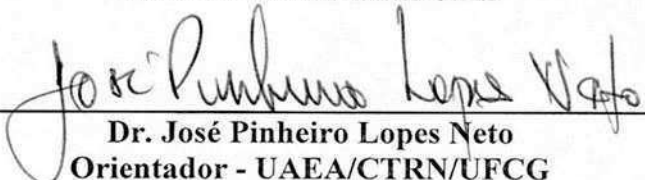
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

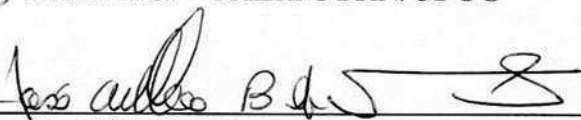
POLYANA MARTA DA SILVA

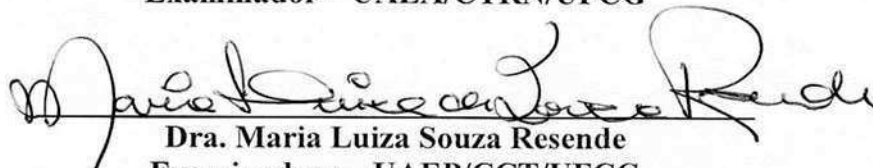
“ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND COM DIFERENTES TEORES DE  
SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS”

APROVADO (A): 28 de junho de 2019

BANCA EXAMINADORA

  
Dr. José Pinheiro Lopes Neto  
Orientador - UAEA/CTRN/UFPG

  
Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento  
Examinador – UAEA/CTRN/UFPG

  
Dra. Maria Luiza Souza Resende  
Examinadora – UAEP/CCT/UFPG

(...) Não é sobre chegar ao topo do mundo e saber que venceu  
É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu (...)

*Ana Vilela*

E assim fortalecida, venho agradecer a todos que tornaram possível a realização dessa dissertação.

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e por sempre estar ao meu lado, dando força e determinação para superar as dificuldades que surgem no caminho.

Aos meus pais que, dentro dos seus limites, me educaram, me apoiaram nas minhas escolhas e sempre foram grandes incentivadores da minha felicidade.

Meu orientador José Pinheiro Lopes Neto pela orientação, ensinamentos, compreensão, paciência e todo o apoio dado para realização desta dissertação;

A todos os professores que compõem a área de Construções Rurais e Ambiente, por todo o conhecimento passado a mim durante as aulas ministradas;

A fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ), pela bolsa de estudos concedida;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA/ UFCG, pela realização deste curso de mestrado;

Ao técnico laboratorial Joselito pela grande ajuda, paciência e gentileza durante todo o processo de aprendizagem durante todo o experimento.

Aos amigos mestrandos e doutorandos pelas sugestões, empenho e ajuda depositada para realização desta pesquisa, além dos bons momentos de descontração que tornaram o dia a dia mais leve.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	12
2.	OBJETIVOS.....	13
2.1.	Objetivo geral .....	13
2.2.	Objetivos específicos.....	13
3.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
3.1.	Rochas ornamentais .....	14
3.2.	Etapas do processo tecnológico .....	15
3.3.	Extração/Lavra .....	15
3.4.	Desdobramento/Beneficiamento .....	16
3.5.	Gestão de Resíduos durante o beneficiamento de rochas ornamentais .....	18
3.6.	Reutilização do resíduo de rochas ornamentais.....	20
3.7.	Resíduos .....	20
3.7.1.	Classificação dos Resíduos .....	20
3.7.2	Resíduo Sólido (Lama Abrasiva) .....	21
3.8.	Mineração .....	22
3.9.	Impactos Ambientais .....	23
3.10.	Aplicações .....	24
3.10.1.	Argamassa .....	24
3.11.	Propriedades das Argamassas no estado fresco .....	25
3.11.1.	Trabalhabilidade .....	25
3.11.2.	Densidade ou Massa específica e Teor de ar incorporado .....	26
3.11.3.	Retenção de água .....	27
3.12.	Propriedades da argamassa no estado endurecido .....	27
3.12.1.	Resistência à compressão .....	27
3.12.2.	Absorção de água por imersão e índices de vazios .....	28

3.12.3. Absorção de água por capilaridade .....	28
3.13. Adições Minerais .....	29
3.13. 1.Estudos e Aplicações de resíduo de rochas ornamentais em matrizes cimentícias	29
3.14. Materiais pozolânicos .....	32
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	34
4.1. Metodologia Experimental .....	34
4.2. Materiais .....	35
4.2.1. Coleta do resíduo .....	35
4.3. Caracterização dos materiais para produção das argamassas .....	36
4.3.1. Distribuição granulométrica do resíduo e da areia natural .....	36
4.3.2. Ensaio de massa unitária do resíduo e da areia .....	37
4.3.3. Ensaio de massa específica do resíduo e da areia .....	37
4.4. Aglomerante .....	37
4.5. Água .....	37
4.6. Procedimento experimental .....	38
4.7. Produção das argamassas .....	39
4.8. Propriedades das argamassas .....	39
4.8.1. Resistência à compressão .....	39
4.8.2. Absorção de água por capilaridade .....	41
4.8.3. Absorção de água por imersão .....	42
4.9. Análise estatística das propriedades das argamassas.....	43
4.10. Atividade Pozolânica do Resíduo de Rochas Ornamentais .....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
5.1.1. Distribuição granulométrica do resíduo e da areia natural .....	45
5.1. 2.Massa unitária e massa específica do resíduo de rochas ornamentais e areia natural	46
5.2. Ensaio das argamassas no estado endurecido .....	47
5.2.1. Absorção por Capilaridade .....	47
5.2.2. Resistência à compressão .....	50



5.2.3. Absorção de água por Imersão.....	53
5.2.4. Avaliação de Atividade Pozolânica .....	55
6. CONCLUSÃO .....	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58

## **ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND COM DIFERENTES TEORES DE SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

**RESUMO:** Na indústria da construção civil são empregados diversos recursos naturais, dos quais são responsáveis por geração de resíduos. Durante o processo de beneficiamento de rochas ornamentais são gerados toneladas de resíduos geralmente depositados na natureza, provocando diversos impactos ambientais. Diante disto, este trabalho objetivou avaliar a substituição da areia natural por resíduo de rochas ornamentais nos teores de 10, 20, 30%. Na formulação de argamassas de revestimento adotou-se o traço de 1:4, em massa (cimento Portland: agregado miúdo), sendo empregado o cimento Portland CP II-F 32, com fator água/cimento entre (0,65 e 0,95). As argamassas foram analisadas, no estado endurecido por meio de ensaios de resistência à compressão, absorção por imersão e absorção por capilaridade sendo também avaliada a atividade Pozolânica do resíduo. A caracterização do resíduo de rochas ornamentais demonstrou que o resíduo possui uma quantidade de finos o que acarretou a diminuição na resistência e aumento na absorção de água. Com relação ao ensaio de atividade Pozolânica, observou-se que o resíduo de rochas ornamentais apresentou os valores mínimos exigidos pela normalização brasileira para ser considerada uma pozolana. **PALAVRAS-CHAVE:** lama abrasiva, reutilização, sustentabilidade ambiental.

## **PORTLAND CEMENT MORTAR WITH DIFFERENT REINSTATEMENT CONTENT OF THE ORNAMENTAL ROCK RESIDUE AREA**

**ABSTRACT:** In the construction industry various natural resources are employed, of which they are responsible for waste generation. During the process of beneficiation of ornamental rocks, tons of waste are generally generated in the nature, causing several environmental impacts. Given this, this work aimed to evaluate the replacement of natural sand by ornamental rock residue in the contents of 10, 20, 30%. In the formulation of coating mortars, a 1: 4 mass was adopted (Portland cement: fine aggregate), using Portland CP II-F 32 cement, with water / cement factor between (0.65 and 0, 95). The mortars were analyzed in the hardened state by compressive strength, immersion absorption and capillary absorption tests. The Pozzolanic activity of the residue was also evaluated. The characterization of the ornamental rock residue showed that the residue has a number of fines which led to a decrease in resistance and an increase in water absorption. Regarding the Pozzolanic activity test, it was observed that the ornamental rock residue presented the minimum values required by Brazilian normalization to be considered a pozzolan.

**KEY WORDS:** Abrasive sludge; reuse; environmental sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Blocos de Rochas Ornamentais .....	14
Figura 2. Processo de Extração dos blocos .....	15
Figura 3. Tear, equipamento de corte dos blocos .....	17
Figura 4. Desdobramento do bloco .....	18
Figura 5. Reservatório de Resíduo de Rochas Ornamentais .....	20
Figura 6. Fluxograma das etapas do experimento .....	34
Figura 7. Lagoas da GRANFUJI LTDA .....	35
Figura 8. Aspecto do resíduo de Rochas Ornamentais .....	35
Figura 9. Ensaio de Granulometria dos Materiais .....	36
Figura 10. Ensaio de massa unitária, (a) resíduo de RO e (b) Areia natural .....	37
Figura 11. Corpos-de-prova confeccionados .....	39
Figura 12. Equipamento para ensaio de resistência à compressão .....	40
Figura 13. Ensaio de absorção de água por capilaridade .....	41
Figura 14. Ensaio de Absorção de água por imersão .....	43
Figura 15. Argamassas confeccionadas para ensaio de atividade pozolânica .....	44
Figura 16 – Absorção de água por capilaridade para diferentes tempos de cura e teores de substituição. ....	48
Figura 17- Resistência à compressão uniaxial .....	51
Quadro 2. Estudos de aplicações do resíduos de rochas ornamentais em materiais cimentícios .....	31

## 1. INTRODUÇÃO

A Paraíba é o terceiro maior produtor de rochas ornamentais da região nordeste, entretanto, durante os processos de lavra e beneficiamento, é gerada uma grande quantidade de resíduos os quais são desprezados diretamente no meio ambiente. Tais resíduos são oriundos das etapas de extração das rochas para fins comerciais. A indústria da construção civil é responsável pelo emprego de diversos recursos naturais e, conseqüentemente, grandes geradores de resíduos. O beneficiamento de rochas ornamentais é um processo industrial responsável por, tais como resíduos da extração, do desdobramento, do polimento e do corte das chapas em dimensões comerciais.

Durante o sistema de desdobramento de blocos de rochas ornamentais para a produção de chapas ocorre a geração de certa quantidade de rejeitos na forma de lama de 25 a 30%, geralmente constituída de água, gralha, cal e rocha moída, que após o processo, são lançados no meio ambiente. No Brasil, estima-se que sejam gerados 240.000 toneladas/ano desse resíduo de rochas, ou seja, sem um direcionamento correto, este resíduo é depositado em locais totalmente inapropriados, gerando graves impactos ambientais SIDUSCON (2011).

Diante disto, surge a problemática relacionada com reciclagem, reutilização ou processamento dos resíduos gerados que depositados na natureza, ocasionam sérios impactos ambientais. Neste sentido, o aproveitamento de resíduos na indústria da construção civil, grande consumidora de recursos naturais e que está cada vez mais buscando alcançar um desenvolvimento mais sustentável, tem motivado estudos sobre a substituição de materiais convencionais por resíduos de mineradoras.

A reutilização do resíduo de rochas ornamentais é uma alternativa econômica e ecologicamente viável que proporciona um destino para os resíduos oriundos das indústrias de mineração na etapa de extração de mármore e granito. Em suma, pode-se afirmar que o uso do resíduo visa um controle no setor da construção civil, que cresce a cada dia, e a necessidade de preservar jazidas limitadas de recursos naturais.

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se o resíduo de rochas ornamentais proveniente do processo de beneficiamento de rochas do município de Campina Grande-PB.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Desenvolver uma argamassa com propriedades desejáveis para revestimento a partir da substituição parcial de areia natural por resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.

### **2.2. Objetivos específicos**

Caracterizar fisicamente o resíduo do beneficiamento rochas ornamentais como agregado miúdo a ser incorporado em argamassa cimentícia.

Determinar as propriedades mecânicas de argamassas confeccionadas a partir da substituição do agregado miúdo natural por resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em diferentes proporções.

Verificar o desempenho do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais como material pozolânico.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico aborda conceitos fundamentais, que serão utilizados nesta pesquisa bem como os principais estudos sobre aplicações do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em argamassas de revestimento.

#### 3.1. Rochas ornamentais

A associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, nos termos da norma 15012 (2003) define rocha ornamental como: material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer uma função estética. A rocha para revestimento corresponde à rocha natural que, submetida a processos diversos de beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas, em obras de construção civil.

As rochas ornamentais são classificadas basicamente em granitos e mármore. Os produtos que sofrem não apenas a extração e a serragem, mas também algum tipo de tratamento de superfície (polimento e lustro) são classificados como rochas processadas especiais, que incluem também os quartzitos maciços e os serpentinitos (ABIROCHAS, 2017).

Granitos correspondem a um amplo conjunto de rochas silicáticas, cuja associação mineralógica mais comum apresenta uma composição de quartzo, feldspatos e micas. É possível observar ainda a presença de diversos outros minerais, porém em proporções bem mais reduzidas. Já o termo mármore é empregado comercialmente para designar todas as rochas carbonáticas, metamórficas ou não, capazes de receber polimento e lustro (SINDIROCHAS, 2013; CHINELATO et al., 2015).



Figura 1. Blocos de Rochas Ornamentais

Fonte: SINDIROCHAS, 2015

A pedra de revestimento corresponde ao material rochoso natural selecionado, beneficiado e acabado em formatos e tamanhos específicos, para atender a requisitos dimensionais exigidos para fins estruturais ou arquitetônicos. (SINDIROCHAS, 2015).

A produção de rochas ornamentais é dividida em quatro etapas distintas. A extração, realizada nas pedreiras, onde o matacão é cortado em bloco de rocha, o desdobramento, onde ocorre a serragem dos blocos em chapas, o polimento responsável por dar o acabamento nas chapas, e por fim, as chapas são vendidas para as marmorarias que executam os mais diversos trabalhos (SILVA, 2011).

O processo produtivo é caracterizado pela extração e beneficiamento do produto e não envolve efetivamente a geração, as rochas são extraídas de forma bruta das jazidas e transformadas em peças aplicáveis como revestimento ou decoração (CALMON; SILVA, 2006).

### 3.2. Etapas do processo tecnológico

#### 3.3. Extração/Lavra

A extração consiste na remoção de material útil ou economicamente aproveitável dos maciços rochosos ou dos matacões. O produto da etapa de extração é o bloco de arestas aproximadamente retangulares, de dimensões variadas, que procuram obedecer ou aproximar se, tanto quanto possível, daquelas que proporcionem o melhor aproveitamento do material e a maior utilização da capacidade produtiva dos equipamentos nas etapas de beneficiamento (SILVEIRA, 2014).



Figura 2. Processo de Extração dos blocos

Fonte: SIDUSCON



Segundo a Abirochas (2017), as atividades de lavra em uma jazida não são interrompidas pela ausência de material, mas pela possibilidade de não obter blocos com aparência e dimensões que permitam a serragem de peças aceitáveis no mercado.

As operações de lavra em matacões consistem de individualizações de pranchas, normalmente com furações contínua, realizada com marteletes pneumáticos. Cada prancha fatiada é recortada em blocos, em tamanho a depender da capacidade volumétrica do tear do comprador (REIS, 2003).

Segundo Destro (2000) os matacões consistem em partes específicas do maciço rochoso, individualizados a partir da atuação de agentes intempéricos. Quando os matacões são deslocados por rolamento, adquirem formas arredondadas por acebolamento. A lavra de matacões consiste em um método menos oneroso por apresentar custos baixos para abertura de acessos, mão-de-obra pouco qualificada e custos operacionais reduzidos, mas com grandes problemas ambientais.

O esquadramento dos blocos é feito através de cunhas manuais ou cunhas pneumáticas, sendo que, no primeiro caso, o processo é mais lento e é recomendado para matacões de até 100,00 m<sup>3</sup>. No segundo caso, ocorre a utilização de explosivos em furos coplanares e paralelos. As vantagens principais do método são: implantação rápida do empreendimento, investimento inicial baixo, necessidade de pouco conhecimento técnico, equipamentos simples e custo operacional baixo. As desvantagens principais estão relacionadas ao volume grande de estéril produzido, recuperação baixa e dificuldades em um planejamento mais abrangente. (CHIODI FILHO,1998).

A determinação do método de lavra correto em uma pedreira de rochas ornamentais é de importância fundamental para a condução adequada dos trabalhos de planejamento e de execução da lavra. Na fase de definição do método, um erro poderá significar custos de produção excessivamente altos e menor vida útil da pedreira (REIS, 2003).

#### 3.4. Desdobramento/Beneficiamento

Esse processo visa basicamente à transformação dos blocos, extraídos na fase de lavra, em produtos finais ou semiacabados. Desta forma, as fases são divididas em beneficiamento primário, ou desdobramento, e secundário. O primeiro compreende a preparação e serragem dos blocos em chapas de espessura variável, usualmente dois ou três centímetros. No segundo processo, as chapas são submetidas a acabamento superficial, com ou sem resinagem, que pode ser um simples desbaste, polimento, escovado, flameado (FARIA 2016).



Figura 3. Tear, equipamento de corte dos blocos

Fonte: SIDUSCON

Durante o processo de beneficiamento, mais especificamente durante o corte das rochas, são gerados resíduos grossos e finos que, por sua vez, são descartados e não possui uma destinação definida. Em geral eles são depositados em pátios ao redor das empresas ou depósitos provisórios, provocando a degradação do meio ambiente, como contaminação dos mananciais e solos, além de ocupar grandes áreas próximas às empresas que poderiam ser utilizadas para outros fins (FARIA, 2016).

A lama recircula no tear por meio de uma bomba submersa de eixo vertical, situada num poço de recolhimento durante a serragem. A viscosidade da lama é controlada e a parte da lama que se torna muito viscosa é descartada, tornando-se o resíduo, que em geral, é depositado em lagoas de sedimentação, diretamente no solo, nos pátios das empresas. Há casos em que o resíduo passa por um equipamento chamado filtro prensa para diminuir sua humidade e consequentemente seu volume. Após a perda de humidade do resíduo na lagoa de decantação ou nos filtros prensa, o material é transportado e disposto em aterros industriais e geram despesas consideráveis para as empresas.



Figura 4. Desdobramento do bloco

Fonte: SIDUSCON

### 3.5. Gestão de Resíduos durante o beneficiamento de rochas ornamentais

As políticas de gestão de resíduos fundamentam-se em objetivos e estratégias que propiciem a preservação dos recursos naturais, bem como minimizem os impactos negativos sobre o meio ambiente. Para que se possa assegurar a consolidação desses objetivos faz-se necessário incentivar a redução dos níveis de resíduos gerados na sociedade, bem como a gestão desses resíduos, seja por sua reutilização ou por sua reciclagem (APA, 2011).

Na indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, as diversas etapas de produção geram grandes perdas, com um volume de resíduo bastante significativo, que pode chegar a 1.610.000 toneladas/ano no mundo (CHINELATO et al., 2015; SOUZA, 2017). Os resíduos produzidos pela indústria de rochas ornamentais são classificados em dois tipos: resíduos sólidos e lama abrasiva. A maior parte desse resíduo é descartada em aterros, independentemente do uso potencial que possam apresentar em outros segmentos industriais. Quando isso ocorre, a lama tem seu teor de água reduzido, e o pó de pedra resultante representa diversos impactos ambientais (GALETAKIS, 2016).

As características dessa lama gerada durante as operações de serragem e acabamento, como a porcentagem de material proveniente do desgaste das granalhas e lâminas de aço, dependem das características da rocha, dos equipamentos utilizados no processo de beneficiamento e das propriedades dos insumos (CAREDDU; MARRAS, 2015). Blocos que contêm minerais mais duros ou aspectos texturas distintos geralmente desgastam mais as lâminas e gastam uma maior quantidade de granalha de aço para serem desdobradas, gerando um resíduo com maior percentual de aço (OLIVEIRA, 2015).

No processo de corte e obtenção de chapas brutas, as chapas são submetidas aos processos de acabamento para obtenção do produto final. O processo seguinte ao corte é o polimento da superfície superior, nesta fase a quantidade de resíduo gerado é muito menor que no processo de corte, porém tem a característica particular de ser desprovido de granalha, visto que as lâminas de corte são de diamante. Contudo, diferentes tipos de rochas passam pelas serras, gerando um resíduo diversificado, portanto, sua caracterização física, química e mineralógica é imprescindível para uso em novos produtos (APOLINÁRIO, 2014).

Durante o processo de desdobramento e beneficiamento cerca de 25% de cada um dos blocos serrados são convertidos em resíduo, um volume gerado no Brasil por ano de aproximadamente 1,8 milhão de toneladas (CHIODI, 2004), sendo denominado Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO). Esse resíduo é separado para descarte conforme sua composição: resíduo com granalha, proveniente do corte em teares tradicionais – denominado LBRO G – e resíduo sem granalha proveniente do corte por fios diamantados e também dos rejeitos de polimento – o LBRO D. Esta denominação foi adotada por se tratar da abordagem utilizada pelo setor de mineração do Instituto Estadual de Meio Ambiente do Espírito Santo (IEMA ES) que faz o controle e monitoramento do resíduo gerado pelas indústrias de beneficiamento.

Segundo Bastos (2014) a morfologia do rejeito está intimamente relacionada ao processo no qual é gerado, sendo originados tanto no processo de lavra, quanto no beneficiamento de rochas. Durante o processo de lavra são gerados rejeitos na forma de lascas de rochas; provenientes das quebras durante a extração. O processo de serragem pode dar origem a dois tipos de resíduos, as lascas e aparos, e um resíduo fluído, ilustrado pela Figura 5. O resíduo fluído tem aspecto de uma lama e é gerado no processo de esquadrejamento dos blocos, pois é realizado por serragem via úmida.



Figura 5. Reservatório de Resíduo de Rochas Ornamentais

Autora: Medeiros (2003)

O resíduo é oriundo da fração mais viscosa da lama, podendo ser encaminhado às lagoas de sedimentação diretamente no solo da própria empresa, ou em filtros tipo prensa, com o objetivo de reduzir sua umidade. Em seguida, este é transportado e disposto em aterros sem nenhum tratamento prévio (REIS e TRISTÃO, 2007).

### 3.6. Reutilização do resíduo de rochas ornamentais

Martins (2010) afirma que para amenizar os impactos ambientais, algumas empresas constroem unidades de tratamento para o efluente, como por exemplo, as caixas de decantação e, com isso, o resíduo pode ser utilizado para diversos fins, a exemplos, matéria prima de concreto e argamassas.

Para o aproveitamento industrial dos resíduos de rochas ornamentais, deve passar por uma classificação e verificar os cuidados que se deve ter, para que possa estruturar um plano de gestão adequado. Com isto, serão definidas as etapas de coleta de amostra, transporte, armazenagem, manipulação, tratamento e a destinação final, de acordo com as características físicas e químicas do resíduo. Depois dos devidos cuidados, deve-se estudar as possibilidades de aproveitamento industrial do resíduo (CAMPOS et al., 2009).

### 3.7. Resíduos

#### 3.7.1. Classificação dos Resíduos

A NBR 10004 (ABNT, 2004) define como resíduo sólido materiais que resultem de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. De acordo com a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) a elaboração de planos de

gerenciamento dos resíduos devem ser integrados ao sistema de gestão com vistas à melhoria dos processos produtivos e ao aproveitamento de resíduos sólidos. Devendo o produtor, agente público ou privado, ser o responsável pela destinação e reaproveitamento desses resíduos gerados. A lama abrasiva é uma mistura composta de água, granalha metálica de ferro e/ou aço, cal e rocha moída. Essa lama abrasiva é classificada, segundo a NBR 10004 (2004), como resíduo Classe II B – inerte e não apresenta toxicidade.

SIDUSCON (2011), de acordo com a resolução de N°307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), e a política pública de resíduo sólido (PNRS), atribui a responsabilidade compartilhada aos gerados, transportadores e gestores municipais quanto ao gerenciamento destes resíduos, cabendo aos municípios definir uma política municipal para os resíduos de construção, incluindo sistemas de pontos de coleta.

Segundo o CONAMA (2002), o reaproveitamento de resíduos pode ser abordado de três formas distintas: Recuperação (compreende na extração e remoção de algumas substâncias presentes no resíduo, como óxido, metais e etc.); reutilização (o é processo de reaplicação de um resíduo, sem que haja qualquer transformação ou beneficiamento); reciclagem (é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após este ter sido submetido a algum tipo de transformação).

### 3.7.2. Resíduo Sólido (Lama Abrasiva)

De acordo com estudos realizados por Lima et al.,(2010), a lama abrasiva surge em decorrência da água que é utilizada para fazer as refrigeração das máquinas, em conjunto com o pó resultante dos processos de corte e polimento. Esse resíduo apresenta um teor elevado de sílica (59,56%), alumina (16,46%), óxidos de ferro (6,58%) e óxido de cálcio (6,14%), sendo que o óxido de cálcio é proveniente da cal utilizada como lubrificante dos equipamentos (serras) e o ferro, da granalha utilizada como abrasivo.

Essa lama usada no tear tem como principais objetivos lubrificar e resfriar as lâminas, evitar a oxidação das chapas, servir de veículo abrasivo e limpar os canais entre as chapas. Sua composição é composta por água, granalha (aço), cal e rocha moída, sendo distribuídas por chuveiros sobre o bloco através de bombeamento (SILVA, 1998).

A lama abrasiva pode provocar impactos ambientais consideráveis ao meio ambiente pelo fato de não ser descartada corretamente. Entre os impactos causados pela lama abrasiva destacam-se a contaminação dos corpos hídricos, colmatção dos solos, poluição visual, perda da vegetação nativa, poluição atmosférica, erosão e assoreamento e movimentação dos solos (FILHO et al., 2005).

A lama abrasiva é uma mistura composta de água, granalha metálica de ferro e/ou aço, cal e rocha moída (BRAGA, 2010) e é classificada, segundo a NBR 10004 (2004), como resíduo Classe II B – inerte e não apresenta toxicidade.

Segundo Shirazi (2011) existem diversas possibilidades de se utilizar os resíduos de rochas ornamentais na indústria da construção civil, em segmentos industriais como indústria cerâmica, de polímeros, de fertilizantes. Das possibilidades de utilização apresentadas, a construção civil é um segmento de mercado que apresenta grande potencial para absorver os resíduos de rochas ornamentais, pois é um setor que apresenta um grande consumo de recurso mineral.

Além disso, o resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais, como o granito e o mármore, possui características físicas, mecânicas e mineralógicas que os habilita para ser usado em matrizes cimentícios, como fíler, em substituição ao agregado miúdo natural, ou no caso de argamassa, em substituição da cal (GONÇALVES et al., 2010).

### 3.8. Mineração

A lei 12305 2010 (PNRS 2012) define resíduos de mineração, como aqueles gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios. São proibidas as seguintes formas de destinação de resíduos de mineração, como, lançamento em quaisquer corpos hídricos. Sendo difícil a quantificação do volume desses resíduos devido a diversidades das operações e das tecnologias utilizadas nesses processos. Tais materiais são dispostos em pilhas de estéreis e bacias de rejeitos, sendo que as primeiras, no fechamento de mina, podem ser depositadas novamente na cava, para a recomposição ambiental. Os resíduos de concentração, por sua vez, embora inertes, têm composição química e granulometria muito distintas do solo original, demandando outras destinações no sentido de redução de seu impacto sobre o meio ambiente (SILVA et al., 2014).

A indústria de mineração no Brasil tem sido destaque nos últimos 10 anos, a produção da indústria extrativa mineral cresceu 550%, à custa de significativas ampliações produtivas (IBRAM, 2014). Esta produção acontece em cerca de 3.353 minas e a grande maioria a céu aberto, de pequeno a grande porte e para uma gama de 72 substâncias minerais, das quais 23 são metálicas, 45 não metálicas e 4 energéticas (IBRAM, 2014).

O Brasil é um dos maiores exportadores do setor de rochas ornamentais, contabilizando cerca de 1.200 tipos e mais de 1400 pedreiras ativas. Na Paraíba o município de Várzea, distante 275 km de João Pessoa e 14 km de Santa Luzia, no sertão, tem um grande respaldo em âmbito nacional na produção, extração e beneficiamento primário de rochas ornamentais (CHIODI FILHO, 2005).

A mineração tem sido referenciada pelo Estado brasileiro como uma atividade de interesse público, tendo em vista especialmente o retorno econômico. A Produção Mineral Brasileira, em 2014, foi de US\$ 40 bilhões (IBRAM, 2015) e O Plano Nacional de Mineração (PNM) em 2030 prevê investimentos de cerca de R\$ 350 bilhões em 20 anos, estima-se que a produção mineral tende a aumentar em até cinco vezes, tanto para atender o consumo interno como a exportação.

### 3.9. Impactos Ambientais

Os efeitos negativos da extração mineral (mineração e lavra garimpeira) estão associados às diversas fases de exploração dos bens minerais, desde a lavra até o transporte e beneficiamento do minério, podendo estender-se após o fechamento da mina ou o encerramento das atividades. Ainda, a mineração altera de forma substancial o meio físico, provocando desmatamentos, erosão, contaminação dos corpos hídricos, aumento da dispersão de metais pesados, alterações da paisagem, do solo, além de comprometer a fauna e a flora. Afeta, também, o modo de viver e a qualidade de vida das populações estabelecidas na área minerada e em seu entorno e quando não são detectados e corrigidos, se transformam num passivo ambiental, o que tem acontecido com frequência no Brasil (PAIVA, 2006).

A escavação do subsolo ou alteração da superfície sem estudos mais aprofundados pode levar à degradação de um ecossistema ou à contaminação de lençóis freáticos. Bem como existem



cavas abandonadas, sem nenhum trabalho de recuperação da área que foi degradada anteriormente (SILVA, 2014).

Recursos sem valor econômico, chamados vulgarmente pelos garimpeiros de “rejeito” ou “estéril” são descartados aleatoriamente, sem os devidos cuidados, acarretando em forte impacto visual, além do perigo desses materiais serem carregados pelas chuvas, podendo obstruir cursos de água (ALMEIDA, 2010).

Na região semiárida da Paraíba uma das atividades de maior expressão econômica é a mineração, gerando renda para população local e recursos para o estado, tendo por contrapartida a geração de passivos ambientais, que se torna um ato comum entre as mineradoras, durante a lavra são produzidos rejeitos biologicamente inativos, que são acumulados nos pátios, e lugares impróprios como as margens das rodovias e estradas, entre outros. Isso acontece frequentemente devido à desvantagem econômica no reaproveitamento do rejeito da matéria prima, e também aos custos adicionais com o seu transporte, gerando assim, sobre a responsabilidade da mineradora, passivos ambientais a serem recuperados (EMBRAPA, 2008).

### 3.10. Aplicações

#### 3.10.1. Argamassa

A NBR 13281 (2005) define e classifica a argamassa, como materiais de construção com algumas propriedades e características específicas, como, por exemplo, rugosidade, aderência ao substrato, resistência mecânica, porosidade, estanqueidade. Portanto as argamassas são obtidas a partir da mistura de um ou mais aglomerante inorgânico, agregados miúdos e água, podendo conter aditivos e adições minerais, podendo ser dosada em obra ou instalações própria (argamassas industrializadas).

Argamassa de assentamento que é utilizada para elevação de alvenarias, servindo para aglomerar e formar elementos estruturais, contribuindo para aumentar a resistência aos esforços laterais, além de uniformizar as cargas atuantes por toda a área da parede. Garante também a estanqueidade da parede à penetração das intempéries, absorve as deformações naturais, como as de origem térmica e as retrações por secagem, dos quais a alvenaria estará sujeita (CARASEK, 2007).

Para obter um bom desempenho, a argamassa de assentamento deverá apresentar as seguintes características: trabalhabilidade; capacidade de retenção de água; resistência inicial; aderência ao substrato; durabilidade. O tipo de argamassa deverá ser baseada de acordo com componente a ser utilizado ou de acordo com os esforços a serem suportados pelos elementos construtivos. No entanto a argamassa deve ser correlacionada com o tipo ou característica dos elementos a serem assentados. (FIORITO, 2003).

De acordo com NBR 13281 (2005) a argamassa para revestimento, é denominada de camada de regularização (emboço ou camada única), ou de acabamento denominada de massa fina, e aplicada em uma única camada e com fins decorativos.

As argamassas para revestimento, são indicadas para ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única). De acordo com Carasek (2009) as argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais.

As propriedades dos revestimentos podem variar em função do tipo de acabamento final, podendo ser a pintura, revestimento acrílico/ cimentícios de baixa espessura, texturas, placas cerâmicas. Suas principais funções resumem-se em:

Proteger a base, da ação direta dos agentes agressivos, ação do intemperismo; contribuição para o isolamento termoacústico e para a estanqueidade; proporcionar uma superfície adequada, regular, homogênea, resistente para a aplicação do acabamento final, apresentar capacidade de absorver as deformações da base se apresentar perda significativa nos requisitos de desempenho, de modo que atenda às recomendações de projeto. (CARASEK, 2007).

### 3.11. Propriedades das Argamassas no estado fresco

#### 3.11.1. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade pode ser considerada como uma propriedade subjetiva das argamassas é a facilidade em manusear, transportar e aplicar uma argamassa ou um concreto. Uma argamassa é considerada trabalhável quando não segrega ao ser transportado, não gruda na

colher de pedreiro, distribui facilmente ao ser assentada, não endurece em contato com superfícies absorptivas, mantendo-se plástica por tempo suficiente para que seja aplicada (KRÜGER, 2013).

Segundo Forti (2017), o índice de consistência da argamassa variou de acordo com a quantidade de cal hidratada na mistura, visto que a cal influenciou na consistência devido a relação entre água/ aglomerante, observou-se que para manter a consistência da argamassa seria necessário alterar o volume de água da mistura ou adição de aditivos.

### 3.11.2. Densidade ou Massa específica e Teor de ar incorporado

A massa específica ou densidade de massa varia com os materiais constituintes da argamassa e com o teor de ar incorporado, que é a porção de ar contida na argamassa. Quanto menor a massa específica, mais leve será a argamassa, conseqüentemente, será mais trabalhável a longo prazo (CARASEK, 2010).

As argamassas podem ser classificadas quanto à massa específica em leve, normal e pesada conforme demonstrado.

Quadro 1 Classificação das argamassas quanto à massa específica no estado fresco.

Argamassa	Massa Específica $\rho$ = (g/cm <sup>3</sup> )	Principais agregados empregados	Usos / observações
Leve	< 1,40	Vermiculita, perlita, argila Expandida	Isolamento térmico e Acústico
Normal	$2,30 \leq \rho \leq 1,40$	Areia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	> 2,30	Brita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Carasek (2010).

Segundo Nakakura & Cincotto (2004) teor de ar incorporado é quantidade de ar aprisionado na argamassa fresca, influenciando diretamente na densidade de massa das argamassas nos estados fresco e endurecido, pois o ar possui densidade menor que a argamassa e ocupa uma fração da sua massa.

Forti (2017) em seu experimento explica que existe uma variação de massa entre as argamassas, ocorrendo até mesmo em corpos de prova de mesmo traço, porém isso é normal devido ao número de vazios que é diferente entre as amostras. No entanto, os traços avaliados em seu estudo sofreram uma pequena diferença entre as massas, não havendo alterações significativas por não ser suficiente a variação da cal para apresentar divergência nos resultados.

De acordo com Salomão (2016) Supõe-se que a elevada densidade dos produtos de hidratação dos aglomerantes, em especial o cimento, diminui a dimensão dos poros na matriz cimentícia. Ou seja, quanto maior o teor de aglomerantes, mais finos são os poros. Por isso, pretende-se variar esses parâmetros de dosagem e avaliar a influência das mudanças no comportamento relativo ao transporte de água das argamassas.

### 3.11.3. Retenção de água

A retenção de água é uma propriedade que está relacionada à capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação seja pela absorção de água da base. Esta propriedade além de interferir no comportamento da argamassa no estado fresco, também afeta as propriedades da argamassa endurecida (BAHIANENSE et al., 2008).

Segundo Recena (2012), a retenção de água é a capacidade de uma argamassa de liberar lentamente a água empregada na sua preparação para o meio ambiente ou para material permeável. Quanto maior a quantidade de água empregada na preparação de uma argamassa, maior o volume de água a ser evaporado, gerando sempre retração por maior que seja a capacidade de uma mistura em reter água.

Para Medeiros (2016) quanto a retenção de água em argamassas, os resultados demonstram uma pequena variação. As argamassas que utilizaram na sua composição cal e cimento apresentaram maiores retenções de água do que as argamassas com cimento. Sendo explicado pela maior superfície específica (finura) da cal que aumenta a retenção de água na argamassa, adsorvendo a água e impedindo sua passagem através da massa sólida.

Santos (2008) observou em seus resultados que não houve alterações relevantes da retenção de água das argamassas produzidas, independente do percentual ou tipo de resíduo utilizado na mistura. Assim sendo, a utilização dos resíduos de vidro como adição em argamassas em substituição ao cimento não influenciou essa propriedade.

Argamassa contendo pó de borracha e resíduo de pedreira foi estudado por Canova et al. (2015). Segundo a pesquisa, o uso desses resíduos contribuiu para o aumento de vazios e retenção de água, absorção de água por capilaridade e reduziu significativamente o aparecimento de fissuras visíveis.

### 3.12. Propriedades da argamassa no estado endurecido

#### 3.12.1. Resistência à compressão

Leda et al. (2014) estudaram argamassa contendo resíduos de rochas ornamentais nos teores de 15 a 25%. No ensaio de resistência à compressão a que obteve melhor resultado foi a argamassa contendo 20% de substituição da areia por resíduo no tempo de 7° dias de cura. Diante disso, sugere que o resíduo pode ser introduzido como substituinte parcial da areia, reduzindo assim a poluição ambiental que as indústrias de rochas ornamentais despejam ao meio ambiente deste resíduo dentre outros existentes.

Fontes et al. (2016), fatores que podem influenciar a resistência mecânica, um deles é a proporção de cimento na mistura. Analisaram o desempenho mecânico da argamassa, e concluíram que a argamassa incorporada com o rejeito de minério de ferro apresentou um melhor desempenho. Justificam esse resultado quanto maior for a relação cimento/rejeito, maior será a resistência à compressão. Devido aos fenômenos de empacotamento de grãos do rejeito e pelas reações de hidratação do cimento.

#### 3.12.2. Absorção de água por imersão e índices de vazios

Silva et al. (2013), em sua pesquisa sobre argamassa de revestimento utilizando areia residual proveniente da produção de minérios encontraram maior absorção de água e maiores índices de vazios nas argamassas produzidas com areia residual quando comparado com a argamassa de referência.

Dias (2018), em sua pesquisa, observou que os resultados de absorção de água por imersão, levando em consideração a diferença de médias em cada proporção, são considerados iguais em todos os dias de cura. No entanto a justificativa para a maior absorção é encontrada nas

proporções 60 e 100%, que é a maior devido a incorporação de resíduo de vermiculita promovendo uma absorção inicial maior.

Segundo Medeiros (2016), na absorção por imersão os índices de vazios aumentam à medida que a porcentagem de agregado natural é substituída por resíduo e o mesmo aconteceu quando comparou a taxa de absorção de água por imersão, apresentando assim, uma relação entre absorção por imersão e índices de vazios. Justifica que as amostras com maior quantidade de resíduo possuem mais poros permeáveis que as amostras fabricadas com areia natural e ainda complementa que as argamassas compostas de cal e cimento como aglomerante absorveram mais água que as argamassas compostas de apenas cimento como aglomerante.

### 3.12.3. Absorção de água por capilaridade

Afonso (2005) obteve valores de absorção de água por capilaridade com a adição de pó de pedra com relação ao traço de referência, no entanto isto é perfeitamente normal e esperando, quando se adiciona finos na matriz cimentícia, essa adição auxiliou no preenchimento dos vazios existentes entre partículas da argamassa, o que acaba favorecendo o efeito da capilaridade.

Centofante (2014) em sua pesquisa sobre adição de fibras de polipropileno na produção de argamassas, constatou que o traço sem adição de fibras de polipropileno aos 10 min. de ensaio obteve 0,38g/cm<sup>2</sup> e aos 90min 1,17g/cm<sup>2</sup>, observando que a adição da fibra ajuda a diminuir os valores de absorção de água. O autor explica que este comportamento está relacionado a diminuição da porosidade, o que torna a argamassa menos permeável.

### 3.13. Adições Mineraias

#### 3.13.1. Estudos e Aplicações de resíduo de rochas ornamentais em matrizes cimentícias

A importância dos conceitos de sustentabilidade e do sistema de produção e consumo vem-se buscando uma forma de diminuição dos recursos naturais empregados e, conseqüente a redução da geração de resíduos. Portanto esse resultado baseia-se numa gestão que implica na prevenção dos resíduos, reciclagem, reuso e a melhoria na destinação final, evitando-se aterros (CARDOSO, 2010).

Calmon et al. (1997) empregaram o resíduo do beneficiamento das rochas ornamentais em argamassas de assentamento com dosagens em volume 1:2:8 e 1:1:6 (cimento; cal; areia), substituindo-se a cal por 25%, 50%, 75% e 100% de resíduo em massa. A consistência das

argamassas foi mantida em  $255\pm 10$ mm. A exsudação foi maior nas dosagens 1:1:6, que possuem relação cal/cimento menor. Isso pode prejudicar a trabalhabilidade, pois a cal diminui a exsudação das argamassas.

Em Moura et al. (2002) o resíduo substituiu o agregado miúdo da argamassa de revestimento. Foram produzidas argamassas na dosagem 1:6 (cimento: areia) em massa, com substituições de 5% e 10% da massa de areia por resíduo. A consistência foi mantida em  $260\pm 10$  mm. A resistência à compressão das argamassas com resíduo foi medida nas idades de 3, 7 e 28 dias e se apresentou maior do que a resistência da argamassa de referência com melhores resultados quando a substituição foi de 10%.

Carvalho et al. (2003) estudaram o uso do resíduo gerado no corte do gnaiss, em argamassas industriais comum e colante, em substituição ao calcário. As resistências à compressão aos 3, 7 e 28 dias aumentaram, sendo aos 28 dias 5% superior à resistência da argamassa usada como referência. Também foi estudada a possibilidade de uso do resíduo em até 40% em volume, na formulação de borrachas, que resultou em redução da resistência à tração. Cruz et al. (2003) substituíram o agregado miúdo das argamassas pelo resíduo (lama abrasiva). A dosagem das argamassas foi 1:3 (cimento: areia) em massa. As porcentagens de substituição de areia por resíduo foram de 5%, 10%, 15% e 20% (em volume), baseando-se em Moura et al. (2002). A resistência à compressão simples das argamassas se elevou com a inserção do resíduo com melhores resultados para 15% a 20% de substituição de resíduo.

Tenório (2004) e Tenório et al. (2005) estudaram o uso do resíduo do polimento e corte de granito nas argamassas, substituindo cimento e areia, nos teores de 5% e 10% em volume. Foram adotadas dosagem 1:3 (cimento: areia), em massa, e consistência de  $255\pm 10$ mm. A resistência à compressão e o módulo de elasticidade nas argamassas com resíduo substituindo a areia aumentaram com o aumento do teor de resíduo, com melhor resultado para a substituição de 10% da areia por resíduo. Já nas argamassas com substituição de cimento por resíduo, houve queda da resistência e o módulo de elasticidade apresentou aumento com 10% de substituição de resíduo em relação à argamassa de referência. Pode-se concluir que o resíduo agiu como fíler nas argamassas.

Reis e Tristão (2007) realizaram uma revisão dos estudos sobre o uso do resíduo em argamassas cimentícia no Brasil, confirmando o efeito-fíler promovido pelo resíduo, o que contribuiu para melhorar a densidade e diminuir a porosidade. A consistência das argamassas com resíduo se situou dentro dos limites das normas, havendo para isso, em alguns casos, a adição

de maior quantidade de água. Não houve mudança significativa na retenção de água e, nas propriedades das argamassas no estado endurecido, ou a resistência à compressão. Foi ressaltado também que devem ser feitos estudos quanto à aderência, retração e durabilidade das argamassas com resíduo, para confirmação da viabilidade técnica do seu uso em argamassas cimentícia.

Ainda segundo Tristão (1995) concluiu que a absorção por imersão, absorção por capilaridade, permeabilidade e o índice de vazios diminuíram enquanto a retenção ficou acima de 80% e a massa específica aumentou nas argamassas com adição de resíduo, o que pode ser explicado pelo efeito - filler que o resíduo promove. As resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral elevaram-se com o aumento do teor do resíduo. O uso do resíduo mostrou-se viável substituindo a cal em 100%.

Para a utilização de um rejeito industrial é preciso fazer uma caracterização completa do material, para que se possa avaliar as reais possibilidades de utilização. Diversos pesquisadores já estudaram a lama abrasiva de rochas ornamentais, identificando suas características típicas e possíveis aplicações como materiais de construção buscando amenizar seus impactos ambientais (ULIANA, 2014).

Nos últimos 10 anos, pesquisas brasileiras referentes às aplicações de resíduo de rochas ornamentais como adição em materiais de construção, foi estudado por Bastos et al. (2013), que enfatizaram a viabilidade técnica deste resíduo na condição de pó inerte em matrizes betuminosas, cerâmicas e cimentícias, quando adicionada como incorporação tipo filler, substituindo o agregado miúdo e até mesmo o aglomerante, considerando os baixos teores de substituição do resíduo de rochas ornamentais.

Diante disso o quadro apresenta alguns estudos publicados sobre a utilização do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais em matrizes cimentícia.



Quadro 2. Estudos de aplicações do resíduos de rochas ornamentais em materiais cimentícios

Autores	Produto final da pesquisa
Argamassa	
Mármol et al. (2010)	Argamassa de alvenaria coloridas com substituição parcial de cimento e material de enchimento por resíduo de granito.
Colangelo, Marroccoli e Cioffi (2010)	Argamassa de auto nivelamento com substituição parcial de agregado miúdo e cimento por resíduo de mármore.
Al-Akhras, Ababneh e Alaraji (2010)	Argamassa com substituição parcial de agregado miúdo por LBRO calcinado a 700°C.
Cimento	
Aruntas et al. (2010)	Cimento com substituição de parte do Clínquer por resíduo de mármore.
Jain (2012)	Cimento composto parcialmente por material pozolânico (cinza de casca de arroz) e por material inerte (resíduo de granito).
Bdour e Al-juhani (2013)	Clínquer para produção do cimento com substituição parcial do calcário por resíduo de mármore.
Li et al. (2013)	Cimento pozolânica de cinza volante com resíduo de granito como adição mineral.

Fica evidente a importância dos trabalhos realizados, buscando finalidades para um destino correto dos resíduos de rochas ornamentais, conseqüentemente agregando valor a um material que polui, diminuindo os danos causados ao meio ambiente através da disposição dos resíduos diretamente na natureza.

### 3.14. Materiais pozolânicos

A NBR 12653 (2014) define o material pozolânico como um material silicoso ou sílico-aluminoso não possui pouca ou nenhuma propriedade cimentícia, mas que quando finamente dividido e na presença de umidade reage com o hidróxido de cálcio, liberado na hidratação do cimento Portland, formando compostos com propriedades cimentantes.

Pesquisas a respeito de novas pozolanas de baixo custo, principalmente a partir de subprodutos industriais, têm sido intensificados, visto que a substituição de parte do cimento Portland por esses materiais agregam valor aos resíduos que seriam depositados na natureza gerando impactos negativos e também reduz o consumo de cimento que constitui uma problemática ambiental provocada pela sua produção (VIEIRA, 2005).

As adições minerais pozolânicas atuam nos materiais cimentícios melhorando suas propriedades no estado fresco e endurecido, a medida que minimiza efeitos da exsudação e segregação, melhorando a coesão da mistura, e conseqüentemente sua resistência a compressão não só devido ao efeito químico, mas também devido ao efeito físico, pois estas partículas com finura elevada promovem o preenchimento dos vazios na pasta, o que se denomina efeito fíler (ANJOS, 2009).

Quando se discute sobre adições ao cimento torna-se necessário o conhecimento básico sobre o efeito fíler (físico) e o efeito pozolânico (químico). O efeito fíler é governado pela presença de pequenas partículas provenientes das adições que, quando utilizadas em quantidades ideais, refinam a estrutura porosa. Desta maneira, cria-se uma redução da quantidade e tamanho de poros podendo obstruir alguns vazios, gerando um compósito de cimento Portland mais compacto (MORAIS, 2001).

Max et al. (2013) verificaram que a composição química do resíduo de rochas ornamentais são materiais sílico-aluminosos, devido aos elevados teores na faixa de 73 - 95%. Deve-se ressaltar ainda, que os resíduos estudados ricos, em  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (80,980 – 95,316 %), apresentaram grande potencial para serem utilizados na confecção de argamassas para a construção.

Os materiais pozolânicos podem ser classificados como naturais ou artificiais. As pozolanas naturais são provenientes de rochas, de origem vulcânica ou sedimentar, e que em

geral necessitam apenas de um beneficiamento para serem utilizadas. As pozolanas artificiais são obtidas de processos industriais ou como subprodutos. (FIGUEIREDO, 2011)

Conforme Figueiredo (2011), a possibilidade destes resíduos reutilizados na confecção de novos materiais, em diversas áreas, a exemplo da mineração, surge da característica aglomerante que muitos possuem quando são devidamente beneficiados. Este potencial pozolânico é de difícil determinação e não possui critérios absolutos para avaliação.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Este tópico apresenta a descrição do programa experimental empregado para a avaliação do desempenho de argamassas com resíduos de rochas ornamentais.

##### 4.1. Metodologia Experimental

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LACRA) localizado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – PB. Para tanto, o programa experimental figura-se em coletar e caracterizar o material, a interação entre os materiais, produção das argamassas e caracterização das propriedades. Foi produzida argamassa no traço 1:4 (cimento: areia), apresentando-se como usual para emboço por contém apenas cimento e areia em sua composição e estudadas as propriedades físicas e mecânicas.

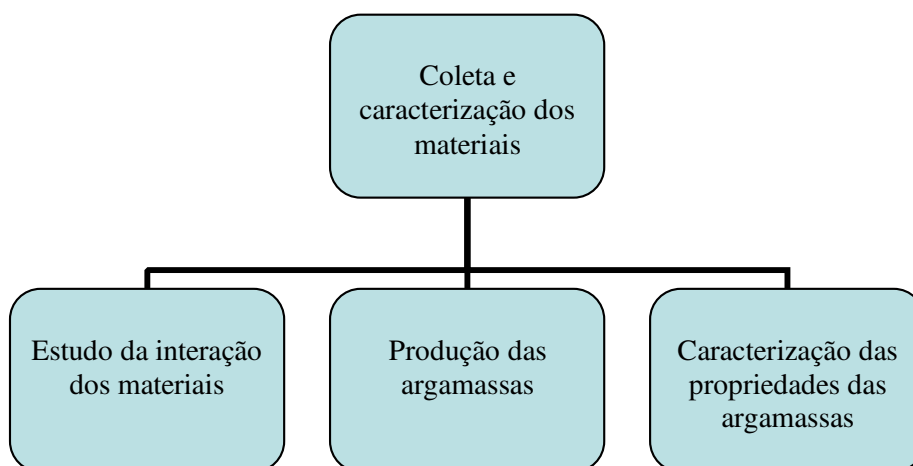


Figura 6. Fluxograma das etapas do experimento

## 4.2. Materiais

### 4.2.1. Coleta do resíduo

Foi realizada a coleta do resíduo de rochas ornamentais na empresa GRANFUJI situada no distrito industrial em Campina Grande – PB (Figura 7). Foram coletados cerca de 40 kg do material proveniente no processo de beneficiamento, no pátio da empresa onde fica localizada a lagoa de decantação, sem qualquer uso e em grande proporção de rejeito sem destino (Figura 8).



Figura 7. lagoas da GRANFUJI LTDA

Fonte: Medeiros (2003)



Figura 8. Aspecto do resíduo de Rochas Ornamentais

Após a coleta do resíduo, fez-se necessário a caracterização dos materiais utilizados na produção da argamassa, segundo as especificações da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

#### 4.3. Caracterização dos materiais para produção das argamassas

##### 4.3.1. Distribuição granulométrica do resíduo e da areia natural

A Caracterização granulométrica da areia e do resíduo em estudo foi realizada com base na NBR 7211 (2009), realizada no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente. Determinou-se o diâmetro máximo da partícula, módulo de finura e a classificação do resíduo. A amostra foi submetida à secagem por estufa com temperatura aproximada de 105°C. Utilizou-se como agregado miúdo a areia natural, obtida do leito do Rio Paraíba, entre Barra de Santana e Cabaceiras - PB.

O conjunto de peneiras utilizadas correspondem às malhas 4,8/2,4/1,2/0,6/0,3 e 0,15mm, com fundo coletor e tampa, de acordo com NBR citada anteriormente. Foi calculada a porcentagem dos materiais retidos e acumulados em cada peneira.

O módulo de finura foi calculado pela soma das porcentagens retidas acumuladas em massa da areia e do resíduo, nas peneiras da série normal, dividida por 100, com aproximação de 0,01.

As dimensões máximas características da areia e do resíduo correspondem à abertura nominal, em mm, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual cada material apresentou uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Conforme NBR NM 248 (2003) realizou-se o ensaio de composição granulométrica dos agregados, (Figura 9).



Figura 9. Ensaio de Granulometria dos Materiais

#### 4.3.2. Ensaio de massa unitária do resíduo e da areia

A massa unitária do resíduo de rochas ornamentais e da areia foi obtida através de métodos descritos na NBR NM 45 (2006) conforme Figura 10.



Figura 10. Ensaio de massa unitária, (a) resíduo de RO e (b) Areia natural

#### 4.3.3. Ensaio de massa específica do resíduo e da areia

A massa específica do resíduo de rochas ornamentais e da areia natural foram obtidas pelo método descrito na NBR NM 52 (2003).

#### 4.4. Aglomerante

Empregou-se o cimento Portland CP II F – 32 na produção das argamassas. A escolha deste tipo específico de cimento Portland se deve a adição de fíler calcário, facilidade de acesso no mercado e por apresentar indicação para fabricação de argamassas de revestimento, enquadrando-se na proposta deste estudo.

#### 4.5. Água

A água utilizada foi proveniente da rede pública de abastecimento do município de Campina Grande, fornecida pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba).

#### 4.6. Procedimento experimental

Inicialmente foi definido o traço da argamassa, sendo 1:4 em massa (cimento: areia), apresentando-se como usual para emboço que contém apenas cimento e areia em sua composição.

O traço foi calculado em massa e os teores de substituição do agregado por resíduo foram de 0, 10, 20 e 30%. Essa substituição só foi possível após obter os dados dos teste de granulometria, que apresentaram em qual peneira houve a maior concentração de material, tanto areia como do resíduo.

Posteriormente foi estabelecido o fator água/aglomerante de 0,65 para a argamassa de referência, que teve como parâmetro valores utilizados em argamassas convencionais com a mesma aplicação. Para atingir a mesma consistência da argamassa de referência foi necessário aumentar o fator água/cimento gradativamente à medida que se aumentava a proporção de substituição de areia natural por resíduo (Quadro 3).

Quadro 3. Traço, composição e proporção do resíduo utilizado no experimento.

Traço	Composição do traço	Teor de substituição	Nomenclatura	Fator água/aglomerante
1:4	Cimento: areia natural	AR0	AR0	0,65
1:4	Cimento: areia natural + resíduo	10%	AR10	0,75
1:4	Cimento: areia natural + resíduo	20%	AR20	0,85
1:4	Cimento: areia natural + resíduo	30%	AR30	0,95

A nomenclatura adotada para as argamassas foi de “AR” (argamassas que contêm cimento e areia natural). Após a sigla AR, é colocado o número que representa o teor de substituição do agregado pelo resíduo em porcentagem, por exemplo: AR0 representa 0% de substituição considerada argamassa de referência, já AR20 significa 20% de substituição da areia pelo resíduo e, assim, sucessivamente.



#### 4.7. Produção das argamassas

Após elaboração dos testes com diferentes proporções de materiais, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura (Figura 11), conforme NBR 7215 (1996).



Figura 11. Corpos-de-prova confeccionados

Para cada proporção de resíduo (0%, 10%, 20% e 30%) foram utilizados 4 corpos de prova para testes de resistência a compressão, 4 para testes de absorção por capilaridade e 4 para testes de absorção por imersão, com tempos de cura de 7, 21 e 28 dias, respectivamente, e 12 corpos de prova para teste de determinação de material pozolânico, com tempo de cura de 28 dias, totalizando 156 corpos de prova.

#### 4.8. Propriedades das argamassas

##### 4.8.1. Resistência à compressão

As avaliações de resistência à compressão uniaxial (Figura 12) foram realizadas segundo as recomendações da NBR 7215 (1996), sendo utilizados 4 corpos de prova para cada idade (7, 21 e 28 dias) em cada teor de substituição da areia média por resíduo de rochas ornamentais, totalizando 48 corpos de prova. Os ensaios foram realizados em máquina tipo prensa para ensaios de compressão semiautomática com capacidade de 24000 kgf da marca Pavitest.



Figura 12. Equipamento para ensaio de resistência à compressão

### 3.5.1.2 Avaliação da eficiência do ensaio

Após o ensaio de resistência à compressão, foi necessário avaliar as operações realizadas nesta fase do experimento quanto a sua eficiência a partir do coeficiente de variação dos resultados (CVe), inicialmente através da obtenção do desvio-padrão do ensaio pela média das amplitudes dos resultados dos exemplares, através da fórmula:

Onde:

$$S_e = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{d_2 \times n}$$

$A_i$  = amplitude dos resultados, diferença entre o maior e menor resultado do exemplar em (MPa);

$n$  = número de exemplares da amostra;  $d_2$

= coeficiente da tabela seguinte.

Quadro 4. Coeficiente  $d_2$

Nº corpos de Prova de exemplar	2	3	4	5	6
Coeficiente $d_2$	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534

Fonte: NBR 5739 (2007).

Em seguida, foi calculado o coeficiente de variação do ensaio (CVe) pela equação:

$$CV_e = \frac{S_e}{f_{cm}}$$

Onde:

$CV_e$  = coeficiente de variação do ensaio;  $S_e$  = desvio padrão calculado;  $f_{cm}$  = resistência média dos exemplares, em MPa.

Por fim, avaliada a eficiência do ensaio, de acordo com o Quadro 5.

Quadro 5. Avaliação da eficiência do ensaio

Nível 1 Excelência	Nível 2 Muito bom	Nível 3 Bom	Nível 4 Razoável	Nível 5 Deficiente
$CV_e \leq 3,0$	$3,0 < CV_e \leq 4,0$	$4,0 < CV_e \leq 5,0$	$5,0 < CV_e \leq 6,0$	$CV_e \geq 6,0$

Fonte: NBR 5739 (2007).

#### 4.8.2. Absorção de água por capilaridade

A obtenção da absorção de água por capilaridade seguiu as determinações da NBR 9779 (1995) (Figura 13). Os corpos-de-prova de argamassa foram moldados de acordo com a NBR 7215 (1996) com cura ambiente durante 28 dias, quando foram determinadas as massas de cada um. Posteriormente, os mesmos foram secos em estufa a uma temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , até que a diferença entre duas pesagens consecutivas do mesmo corpo-de-prova, entre períodos de 24h de permanência na estufa, não excedesse 0,5% do menor valor obtido. Então os corpos de prova foram parcialmente imersos em um recipiente a temperatura constante de  $23^\circ\text{C}$ , de modo que o nível d'água  $\pm$  permanecesse constante a  $5 \pm 1\text{mm}$  acima da sua face inferior, sem que esta tocasse o fundo do recipiente.



Figura 13. Ensaio de absorção de água por capilaridade

Durante o ensaio, determinou-se a massa dos corpos de prova com 3, 6, 24, 48, 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água. Completada cada etapa, os corpos de prova retornam imediatamente ao recipiente do ensaio. A absorção de água por capilaridade é expressa em  $g/cm^2$  e calculada dividindo o aumento de massa pela área da seção transversal da superfície do corpo-de-prova em contato com a água para cada período de permanência, de acordo com a seguinte equação:

$$C = \frac{A - B}{S}$$

Onde:

C = absorção de água por capilaridade, em  $g/cm^2$ ;

A = massa do corpo-de-prova em um período de tempo especificado, em g;

B = massa do corpo-de-prova seco em estufa; S = área da seção transversal, em  $cm^2$ .

Para este estudo seguiram-se os procedimentos adotados pela NBR 9779 (1995) e foram utilizados 4 corpos-de-prova de cada traço, sendo considerado como resultado final, para cada propriedade analisada, o valor médio dos valores individuais. Vale salientar que os valores obtidos mantiveram-se na faixa de desvio relativo máximo inferior a 10%.

#### 4.8.3. Absorção de água por imersão

Este ensaio foi realizado com de 4 repetições em cada teor de substituição da porção fina da areia por resíduo de rocha ornamental, totalizando 48 corpos de prova. O ensaio seguiu todos os procedimentos descritos na NBR 9778 (2009) (Figura 14).

Inicialmente foi determinada a massa da amostra ao ar e, em seguida, os corpos de provas foram levados a estufa a uma temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , obtendo a massa após permanência de 24, 48 e 72h. Completada a secagem em estufa e determinada a massa, procedeu-se à imersão da amostra em água à temperatura de  $23^\circ\text{C}$ , durante 72h.

A amostra foi mantida com 1/3 de seu volume imerso nas primeiras 4h e 2/3 nas 4h subsequentes, sendo completamente imersa nas 64h restantes, sendo determinadas as massas, decorridas 24, 48 e 72 de imersão. Com as massas determinadas ao longo do procedimento, obteve-se a absorção de água por imersão, pela média das quatro amostras, para cada período de imersão, por meio da seguinte expressão:

$$A_i = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

Onde:

$A_i$  = absorção de água por imersão, em %;  $M_{sat}$   
= massa do corpo-de-prova saturado;

$M_s$  = massa do corpo-de-prova seco em estufa.

Foi considerado como resultado final, para cada propriedade analisada, o valor médio dos valores individuais. Os valores obtidos mantiveram-se na faixa de desvio relativo máximo inferior a 10%.



Figura 14. Ensaio de Absorção de água por imersão

#### 4.9. Análise estatística das propriedades das argamassas

Após determinar as propriedades (resistência à compressão, absorção por imersão e absorção por capilaridade) das argamassas foi necessário realizar um estudo estatístico através

de um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4 x 3, sendo 4 tratamentos (0%, 10%, 20% e 30%) em 3 níveis (7, 21 e 28 dias de cura), com 4 repetições em cada tratamento, realizando um comparativo entre as diferentes proporções para cada dia de cura e entre os dias de cura na mesma proporção, através do teste de Tukey com valor nominal de 5% de significância.

#### 4.10. Atividade Pozolânica do Resíduo de Rochas Ornamentais

A atividade pozolânica com cimento foi determinada seguindo os procedimentos constantes na norma NBR 5752 (2014). A avaliação foi realizada tomando-se como parâmetro os dados do ensaio de resistência à compressão simples, ou seja, o índice de atividade pozolânica foi determinado pela diferença de resistência à compressão simples do traço incorporado com resíduo e o traço de referência da argamassa. Foi preparada uma argamassa de referência constituída de cimento Portland, areia normal e água, e outra argamassa com 25% da massa do cimento substituída pelo resíduo de rocha ornamental.

O índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias foi calculado pela equação a seguir:

$$I_{\text{cimento}} = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \cdot 100$$

Onde:

$I$  - é o índice de desempenho com cimento portland aos 28 dias. O resultado, expresso em porcentagem (%), deve ser arredondado ao inteiro.

$f_{cB}$  - é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados com cimento CP II-F-32 e 25% de material pozolânico (argamassa B), aproximada ao décimo e expressa em MPa;

$f_{cA}$  - é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados apenas com cimento CP II-F-32 (argamassa A), aproximada ao décimo e expressa em MPa.



Figura 15. Argamassas confeccionadas para ensaio de atividade pozolânica

Foram preparados 12 corpos de prova cilíndricos de cada argamassa que foram mantidos nos moldes durante 24 h a temperatura ambiente de  $23 \pm 2$  °C, depois foram desmoldados e imerso em água para cura durante os 28 dias. No 28º dia de cura, os corpos de prova foram rompidos, através do ensaio de compressão uniaxial e foram obtidos valores de resistência das argamassas A e B.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1.1. Distribuição granulométrica do resíduo e da areia natural

O resíduo de rochas ornamentais possui uma predominância de grãos com diâmetros de 0,15mm (50,54%), diâmetro máximo de partículas de 1,2mm e módulo de finura 1,44.

Já a areia natural apresenta maior concentração de grãos na peneira 0,3 mm (40,65%), diâmetro máximo de partículas 2,4 mm e módulo de finura de 2,5 (Quadro 6).

Quadro 6. Caracterização Granulométrica

Peneira (mm)	Resíduo de rochas ornamentais		Areia natural	
	% retida	% retida acumulada	% retida	% retida acumulada
2,4	-	-	4,34	4,34
1,2	0,32	0,32	12,78	17,12
0,6	5,95	6,27	24,47	41,59
0,3	43,19	49,46	40,65	82,24
0,15	50,54	100	17,76	100
Total	100%	-	100%	-
Dimensão máxima característica (mm):	1,2		2,4	
Módulo de finura:	1,44		2,5	

A granulometria do resíduo foi maior nas peneiras (0,3 e 0,15mm) com 43,19 e 50,54% de concentração de grãos respectivamente, enquanto que a areia foi de 40,65 e 24,47% para as peneiras 0,6 e 0,3mm, respectivamente. Diante disso, optou-se por utilizar como granulometria semelhante a peneira 0,3mm da areia média que possui uma quantidade de concentração mais significativa (40,65%), já que o objetivo foi substituir a areia natural por resíduo de rocha ornamental, a granulometria do resíduo de rochas ornamentais apresentou elevada finura e,



consequentemente, maior área superficial específica. Esses indicativos mostram a propensão do resíduo em preencher os espaços vazios da mistura, atuando como filler.

De acordo com os dados apresentados na classificação granulométrica, o resíduo de rochas ornamentais pode ser considerado agregado muito fino, por apresentar uma concentração granulométrica na faixa entre 0,3mm e 0,15mm, já a areia apresenta concentração entre as faixas de 0,6mm e 0,3mm, considerada areia fina.

#### 5.1.2. Massa unitária e massa específica do resíduo de rochas ornamentais e areia natural

A massa unitária e massa específica do resíduo de rochas ornamentais e areia natural utilizados nesta pesquisa constam na Quadro 7.

Quadro 7. Massa Unitária e Específica dos Materiais

Material	Massa unitária (g/m <sup>3</sup> )	Massa específica (g/m <sup>3</sup> )
Resíduo de Rochas Ornamentais	1,03	2,84
Areia natural	1,42	2,63

O resíduo de rochas ornamentais apresentou uma maior massa específica que o agregado natural. Tal fato se justifica, possivelmente, pela menor quantidade de vazios presente que o resíduo apresenta, acarretando em uma menor massa unitária, como pode ser observado no comparativo do resíduo e agregado.

Foi observado também que os valores de massa específica do resíduo de 2,92 e 2,93 g/cm<sup>3</sup> encontrados por Abreu (2014) e Ribeiro (2013), respectivamente, não apresentaram grandes variações, e são maiores quando há quantidade de ferro contido no resíduo devido a utilização da granalha de aço presente no processo de serragem do bloco de rocha, confirmando os dados obtido pela análise granulométrica.

Os dados apresentados diferem dos valores encontrados por Jochem (2012), onde mostrou que os valores de massa unitária e específica foram maiores para os agregados reciclados utilizados, porém a pesquisadora complementa que, de acordo com o histórico e a bibliografia

pertinente, os valores das massas específicas e unitárias dos agregados reciclados são em média 10% menores que dos agregados naturais.

## 5.2. Ensaio das argamassas no estado endurecido

### 5.2.1. Absorção por Capilaridade

Para o tempo de cura obteve-se um F-calculado menor que o F-crítico, dados não significativos. O teste de Tukey mostrou uma igualdade de comportamento das argamassas para os diferentes dias de cura. A análise indicou que não houve interação significativa nos dados obtidos.

Os dados obtidos após as 72 horas no ensaio de absorção de água por capilaridade são demonstrados no Quadro 8.

Quadro 8 Absorção de água por capilaridade para diferentes tempos de cura e teores de substituição

FV	GL	SQ	QM	F	
T. de cura	2	10,6	5,3	0,4	ns
% substituição	3	17,0	56,8	4,6	**
T. de cura x % de substituição	6	43,2	7,2	0,6	ns

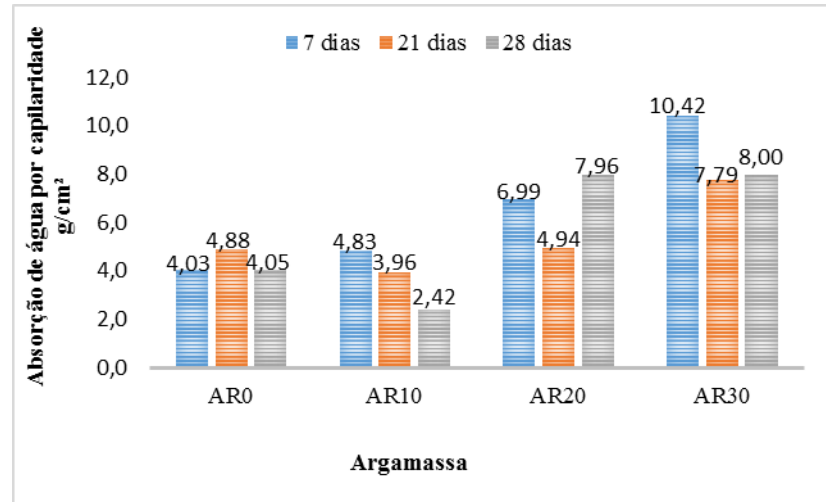
Absorção de água por capilaridade (%)				
Tempo de cura	7 dias	21 dias	28 dias	
	6,564 ± 3,188a	6,638 ± 3,209a	5,607 ± 2,724a	
P- Valor	0,6566			
Teor de substituição	AR0%	AR10%	AR20%	AR30%
	4,316 ± 2,10b	4,567 ± 2,22b	7,462 ± 3,29ab	8,734 ± 4,24a
P- Valor	0,0082			

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade para diferentes tempos de cura e teores de substituição, podemos observar na figura abaixo 16 que houve um aumento na absorção de água na argamassa contendo 30% de resíduo em sua composição aos 7 dias de cura, esse aumento

deve-se a uma maior massa específica que o resíduo apresentou, resultando em um maior preenchimento dos vazios presentes na argamassa.

Figura 16 – Absorção de água por capilaridade para diferentes tempos de cura e teores de substituição.



Verificou-se que a absorção por capilaridade com relação ao tempo de cura foram iguais estatisticamente ( $P < 5\%$ ), apesar disso observou-se uma diminuição de 14,6% na absorção de água por capilaridade com relação ao tempo de cura. A absorção de água aos 7 dias foi maior quando comparados aos 21 e 28 em razão do resíduo ter uma quantidade grande de material pulverulento, facilitando o empacotamento das partículas e preenchimento dos vazios.

Resultados semelhantes foram encontrados nos trabalhos de Soares (2014) e Cioffi (2010). Observou que a absorção de água por capilaridade diminuiu em função da quantidade de resíduo presente na composição da argamassa com isso verificou-se que a velocidade de absorção de água tende a diminuir no decorrer do tempo de cura.

Ingunza (2017) indica que para os períodos de observação no ensaio de absorção por capilaridade, com a adição do resíduo houve uma diminuição a absorção de água, acredita-se ter sido devido ao empacotamento causado pelo material pulverulento, ocupando os espaços vazios.

Verificou-se que os níveis de substituição diferiram estatisticamente ( $P < 5\%$ ), houve aumento de 100% na absorção de água por capilaridade entre as proporções AR0 e AR30. Este aumento na absorção de água por capilaridade em seus diferentes níveis de substituição se deve a quantidade de finos presente no resíduo de rochas ornamentais, sendo constatado pelos dados de granulometria. Devido a superfície específica do resíduo houve um aumento da absorção

capilar. Conforme Metha e Monteiro (2008), a água que não é utilizada na hidratação dos compostos cimentícios, evapora-se dando origem aos vazios capilares.

O fator água /cimento e a concentração de finos, foram os fatores que influenciaram no aumento da absorção de água por capilaridade com relação aos teores de substituição. A trabalhabilidade da argamassa foi prejudicada devido a presença da grande quantidade de finos presente na pasta, sendo necessário aumentar a água para manter a consistência que obteve na argamassa de referência, com isto, a argamassa com um teor de substituição de RO30 apresentou um fator a/c de 0,95 L, justificando o aumento de absorção de água por capilaridade.

Para Nakakura e Cincotto (2004) a absorção de água está ligada ao volume de vazios ou poros da argamassa, visto que o volume de vazios está relacionado com a forma das partículas e o tipo de ligação que ocorre entre elas, constatou-se que na argamassa AR30 onde ocorre a maior absorção em volume de água, pode estar ocorrendo ligações diferenciadas das partículas em função da textura do resíduo.

De acordo com Rubio e Nogueira (2000) a fragilidade da argamassa de cimento com adição de resíduo, bem como sua porosidade ocorrem devido ao alto teor de finos dos resíduos e à sua geometria, o consumo de água na argamassa fresca, nos diferentes teores de substituição.

### 5.2.2. Resistência à compressão

No Quadro 9 estão apresentados todos os valores de resistência à compressão simples realizado durante o experimento, em conjunto com a comparação de médias entre os diferentes dias de cura e entre os quatros níveis de substituição.

Quadro 9. Resistência à compressão uniaxial

FV		GL	SQ	QM	F
T. de cura	2	0,5	0,2	3,3	*
% substituição	3	2,3	0,8	11,2	**
T. de cura x % de substituição	6	0,2	0,0	0,6	Ns

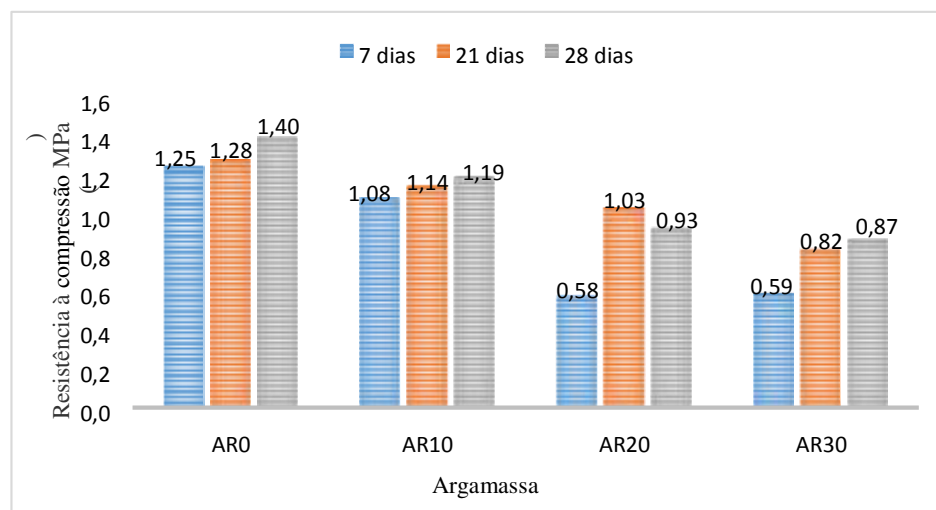
  

Ensaio de compressão simples em argamassa com quatro níveis de substituição nos diferentes dias de cura				
Tempo de cura	7 dias	21 dias	28 dias	
	0,875 ± 0,426b	1,067 ± 0,518a	1,096 ± 0,533a	
P- Valor	0,0479			
Teor de substituição	REF0%	RO10%	RO20%	RO30%
	1,310 ± 0,637a	1,135 ± 0,551ab	0,848 ± 0,412bc	0,759 ± 0,369c
P- Valor	0,001			

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Podemos observar o ensaio de resistência a compressão axial na figura 17, onde as argamassas contendo 10% de resíduo em sua composição foi a que melhor apresentou um melhor resultado quando comparado com a argamassa de referência.

Figura 17- Resistência à compressão uniaxial



Verificou-se que o tempo de cura diferiu estatisticamente ( $P < 5\%$ ), onde aos 7º dias apresentou uma maior resistência a compressão simples quando comparado aos 21º dias com redução de 18% na resistência à compressão. Isto se deve possivelmente ao fato de só aos 21º dias de cura a argamassa está praticamente com todas as reações químicas completas e com sua estrutura consolidada.

Para o 21º dia, houve um aumento na resistência à compressão, e é justificado pela presença de finos do resíduo de rochas ornamentais, preenchendo os vazios existentes na argamassa, aumentando a densidade no estado endurecido, e em consequência disto aumentando a resistência mecânica e também pelas próprias reações do cimento portland.

No entanto Allam et al. (2014) realizaram pesquisa com lama granítica em substituição do cimento e areia e concluíram que houve aumento da resistência à compressão em todas as idades, com qualquer proporção da substituição pesquisada. É importante ressaltar que o teor de incorporação de resíduo em argamassa irá depender das características da superfície sobre a qual a argamassa será aplicada, pois esse irá influenciar a velocidade que irá ocorrer a perda de água

na argamassa. Quanto maior a quantidade de água, maior será número de vazios com tendência a uma mistura menos resistente e com menor durabilidade.

Quanto ao teor de substituição, as argamassas em seus diferentes níveis de proporções diferiram estatisticamente entre si ( $P < 5\%$ ), onde a resistência à compressão da argamassa AR10 de adição de resíduo, obteve resistência média maior que as argamassas com AR20 e AR30 de adição, visto que a argamassa AR10 de adição de resíduo produziu uma barreira física melhor à absorção da água, diminuindo a porosidade.

As argamassas AR20 e AR30 apresentaram diminuição de 10% na resistência à compressão, possivelmente devido a quantidade de água adicionada, comprometendo a resistência nestas proporções. Essa menor resistência está associada a uma maior plasticidade em consequência da maior quantidade de água, que neste caso apresentou fator água/aglomerante 0,85 e 0,95 respectivamente, valores necessários para se alcançar a mesma trabalhabilidade da argamassa de referência.

Resultado semelhante foi encontrado por Kelestemur et al. (2014) ao afirmar que ao utilizarem as proporções 20, 40, 60% de resíduo de mármore, em substituição à areia observam uma diminuição da resistência à compressão devido ao fator água/aglomerante. As argamassas com resíduo apresentaram menor resistência à compressão, com relação a de referência sendo o melhor comportamento da argamassa com 20% do resíduo de mármore. Este comportamento foi atribuído pelos autores à granulometria do resíduo de mármore, por ser muito menor a da areia utilizada. Assim o resíduo atuou como fíler, preenchendo os vazios e melhorando a interface do agregado/pasta de cimento.

Segundo Neville (1997) os materiais finos presentes na composição da argamassa, (pulverulentos) podem formar películas superficiais que interferem na aderência entre o agregado e a pasta de cimento e, devido a sua maior área superficial, retiram a água que participa das reações de hidratação do cimento, aumentando assim, a demanda de água/cimento e consequentemente, diminuindo a resistência. Isto pode ter acometido as argamassas com adição de resíduo de rochas ornamentais, devido a presença de material pulverulento, houve uma diminuição na resistência em função do aumento do resíduo nas argamassas.

Consequentemente, todas as composições deste trabalho obtiveram valores de resistência à compressão que enquadram-se dentro da conformidade e satisfatórios dentro das exigências mecânicas expostas na NBR 13281 (2001), com identificação tipo I, por apresentar resistência

aos 28 dias entre  $\geq 0,1$  e  $< 4,0$  MPa. Com relação a análise estatística, o teor de substituição AR10 apresentou-se como a melhor proporção sendo igual estatisticamente com a proporção de AR0.

#### 4.2.1.1. Eficiência do ensaio de resistência à compressão

Observam-se no Quadro 10 os resultados e seus respectivos níveis para cada composição de argamassa nos diferentes dias de cura.

Quadro 10. Eficiência do ensaio de resistência à compressão

Teor de substituição	7° dia de cura		21° dia de cura		28° dia de cura	
	Coefficiente de variação	Avaliação	Coefficiente de variação	Avaliação	Coefficiente de variação	Avaliação
AR0	0,48	Excelente	0,48	Excelente	0,48	Excelente
AR10	0,48	Excelente	0,48	Excelente	0,48	Excelente
AR20	0,48	Excelente	0,48	Excelente	0,48	Excelente
AR30	0,48	Excelente	0,48	Excelente	0,48	Excelente

Constatou-se que o ensaio de resistência à compressão apresentou em coeficiente de variação de 0,48 em todas as composições de argamassas (AR0, AR10, AR20 e AR30) e em todos os dias de cura (7, 21 e 28), classificando como excelente e representada pelo nível 1, o que condicionou a confiabilidade ao experimento.

#### 5.2.3. Absorção de água por Imersão

As argamassas produzidas com resíduo de rochas ornamentais, apresentaram maiores índices de absorção por imersão. Os dados do ensaio de absorção por imersão estão indicados no Quadro 11, indicando que a adição do resíduo de rochas ornamentais, influenciou significativamente os valores obtidos no ensaio de absorção por imersão.

Quadro 11. Absorção de água por imersão da argamassa em diferentes dias de cura

FV	GL	SQ	QM	F	
T. de cura	2	93,5	46,7	17,5	**
% substituição	3	220,1	73,4	27,5	**
T. de cura x % de substituição	6	169,7	28,3	10,6	**

Ensaio de absorção de água por imersão em argamassa com quatro níveis de substituição nos diferentes dias de cura

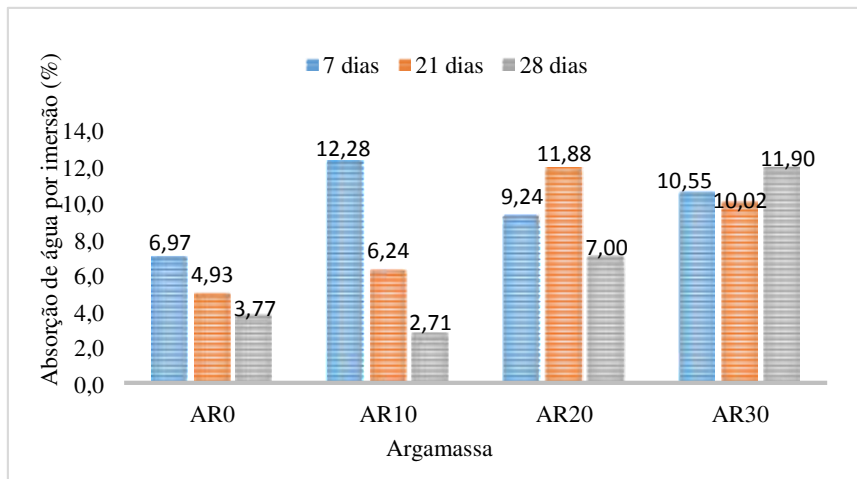


Teor de substituição					
Tempo de cura	REF0%	RO10%	RO20%	RO30%	P Valor
7	6,96 ±3,38 aB	12,27 ±5,96 aA	9,23 ±4,48 abAB	10,54 ±5,12 aA	<. 0001
21	4,92 ±2,39 abB	6,24 ±3,03 bB	11,87±5,76 aA	10,01 ±4,86 aA	<. 0001
28	3,77 ±1,83 bC	2,71 ±1,31 cC	6,99 ±3,39 bB	11,90 ±5,78 aA	<. 0001

Médias seguidas de mesma letra minúscula (na linha) e maiúscula (na coluna), não diferem entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para o ensaio de absorção de água por imersão, como podemos observar na figura 18, as argamassas contendo as maiores proporções de resíduos, apresentaram uma maior absorção de água devido a quantidade de material pulverulento presente no resíduo.

Figura 18 - Absorção de água por imersão da argamassa em diferentes dias de cura.



Verificou-se que o tempo de cura 7 dias foram iguais estatisticamente ( $P < 5\%$ ), observou-se que a absorção de água por imersão aumentou cerca de 43,3% entre AR0 e AR10 gradativamente à medida que a porcentagem do agregado é substituído por resíduo de rochas ornamentais. No entanto houve uma diminuição na absorção de água aos 28 dias entre os níveis de substituição AR20 e AR30 cerca de 41,26% quando comparado com o 7 dias de cura, justifica esta diminuição na absorção, possivelmente devido as argamassas com maior quantidade de resíduo, possuem mais poros permeáveis que a argamassa de referência contendo apenas areia e aglomerante e água, por isso tendem a absorver menos água.

Segundo pesquisa feita por Medeiros (2016), estudo sobre argamassas de revestimento com resíduo de scheelita, concluiu que a medida que se aumenta o teor de substituição de areia por resíduo de scheelita, aumenta também a absorção por imersão, por exemplo para 0% obteve 13,22% de absorção e em 30% de substituição 13,97%, o mesmo foi observado nos tempos de

cura de 7, 21 e 28 dias no presente trabalho, houve esse aumento de absorção de água por imersão na argamassa com AR30 de substituição.

Levando em consideração a diferença média em cada proporção é possível observar no 21 dia de cura os dados de absorção indicam igualdade estatística entre AR0, AR20 e AR30, esse comportamento pode ser justificado devido a incorporação de resíduos de rochas ornamentais em maiores quantidades, promovendo uma maior absorção inicial, devido a quantidade de poros permeáveis apresentados nestes teores, quando comparados com a argamassa fabricada apenas com areia média como agregado e por isso tendem a absorver mais água.

Por fim apenas a argamassa com proporção de AR30 apresentou igualdade estatística no tempo de cura de 7, 21 e 28 dias, comportamento este, justificado pelo início da absorção, onde a proporção começa a apresentar suas reações em função da quantidade resíduo de rochas ornamentais, aumentando também a absorção por imersão.

Todas as proporções de argamassas apresentaram valores semelhantes ao estudo de Medeiros (2016), que avaliou argamassa para revestimento contendo resíduos minerais. Sendo assim, apresenta-se como melhor proporção a AR30, por apresentar maior quantidade de resíduo de rochas ornamentais em sua composição.

#### 5.2.4. Avaliação de Atividade Pozolânica

No Quadro 12 estão contidos os valores médios de referência da argamassa de referência sem incorporação de resíduo de rochas ornamentais e argamassa com incorporação de 25% de resíduo de rochas ornamentais, substituindo o cimento para avaliação do índice de atividade Pozolânica de argamassa contendo o resíduo estudado.

Quadro 12. Resistência à compressão da argamassa de referência e argamassa com resíduo.

Índice de Atividade Pozolânica (MPa)		
Incorporação de Resíduo (%)	Cura (dias)	IAP - cim (%)
	28	

ARO 1,21a -  
25 0,901b 74,44

---

O resíduo de rochas ornamentais atende as especificações da norma. A distribuição granulométrica contínua do resíduo torna-o um material com características adequadas para o empacotamento das partículas da pasta cimentícia, com o material considerado pozolânico, este deve estar em conformidade com as exigências estabelecida na tabela 2 – (Exigências físicas) da NBR 12653 (2014), onde é estabelecido a classificação das pozolanas e os limites mínimos exigidos para ser considerado uma pozolana.

A NBR 12653, (2014) estabelece o valor mínimo do IAP-cim para o material ser considerado pozolânico é de 75%, então diante dos dados obtidos, o resíduo obteve um valor de 74,44%, valor este, muito próximo do mínimo estabelecido pela norma, sendo assim, foi considerado pozolânico, portanto, apresentando grande potencial para serem utilizados na confecção de argamassas para construção civil.

## 6. CONCLUSÃO

Conclui-se:

O resíduo de rochas ornamentais possui uma maior quantidade de finos, maior massa específica e absorção de água quando comparada com a areia natural, utilizada em argamassa de cimento Portland.

No ensaio de absorção de água por capilaridade, a substituição até AR20 foi semelhante a argamassa de referência.

Quanto a resistência à compressão, no 21º dia de cura a adição do resíduo de rochas ornamentais obteve um aumento na resistência, a substituição do resíduo até AR10 na composição da argamassa proporcionou resistências à compressão igualmente a sugerida pela norma.

A adição de resíduo de rochas ornamentais na proporção de AR10 na composição da argamassa, reduziu a absorção de água.

O resíduo de rochas ornamentais apresentou os valores mínimos exigidos pela NBR 5752 (2014) portanto pode ser considerado como material com atividade pozolânico.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abirochas. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. O setor brasileiro de rochas ornamentais. Apresentação em reunião na APEX. Brasília, 2/03/2017.

Abirochas. Balanço das Exportações e Importações de Rochas em 2015. Disponível em: [http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve\\_id=3609](http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve_id=3609). Acessado em: 12/08/2018.

ABNT. NBR 10004. Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: 2004 d.

ABNT. NBR 12653: Materiais Pozolânica. Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 5p.

ABNT. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro 2005.

ABNT. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. NBR 15012: Terminologias de rochas ornamentais de revestimento. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. NBR 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. NBR 6502. Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro 2009.

ABNT. NBR 7215: Cimento Portland – Resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT. NBR 7219: Determinação do teor de materiais pulverulentos. 1987.

ABNT. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

Alencar, C.R.A.; Caranassios, A.; Carvalho, D. (1996). Tecnologias de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. Série estudos econômicos sobre rochas ornamentais, v. 3. 225 p. Instituto Euvaldo Lodi-FIEC/CIEL, Fortaleza.

Almeida, I. C. S; Ramos, A. J. S; Diniz, M. T. M; A problemática da extração do caulim no alto do chorão em Junco do Seridó/PB. Anais XVI Encontro Nacional de Geógrafos, Porto Alegre - RS, 2010.

APA - Agencia Portuguesa do Ambiente. Gestão de Resíduos. APA: Amadora, Portugal, 2011. Disponível em: Acesso em: 07 de Abr 2019.

Apolinário, E. C. A. Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de cimento Portland. Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2014.

Assis, F. ASSISTAT: Assistência Estatística. Campina Grande, Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, 2011. Disponível em: <http://www.assistat.com/indexp.html>.

Associação Brasileira da Industria de Rochas Ornamentais. (ABIROCHAS). Situação mundial e posição brasileira no setor de rochas ornamentais em 2008. Disponível em: Acesso em mar. 2012.

Bahiense. A. V.; Manhães. R. T.; J. Alexandre; G. C. Xavier; S. N. Monteiro; C. M. F. Vieira. Utilização do planejamento experimental na incorporação do resíduo da indústria cerâmica em argamassas para obtenção da capacidade de retenção de água. Cerâmica vol.54 no.332 São Paulo Oct. /Dec. 2008.

Beltrão, S. L. D. Comportamento mecânico e durabilidade de argamassas incorporadas com resíduo de caulim calcinado. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 162p. 2014.

Calmon, J. L.; Silva, S. A. C. Mármore e granito no Espírito Santo: problemas ambientais e soluções. In: Domingues, A. F.; Boson, P. H. G.; Alípez, S. (Org.). A gestão dos recursos hídricos e a mineração. Brasília. Agência Nacional das Águas e Instituto Brasileiro de Mineração. Capítulo 5, 199-231 p. 2006.

Calmon, J.L.; Tristão, F.A.; Lordêllo, F.S.S.; da Silva, S.A.C.; Mattos, F.V. Reciclagem do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas. In: Encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis, 1.,1997, Canela. Anais...Rio Grande do Sul: ANTAC, 1997.

Campos, A. R.; Castro, N. F.; Vidal, F. W. H.; Borlini, M. C. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. IN: Simpósio de Geologia do Nordeste, 23, 2009, Fortaleza, CE. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2009. p.16-25.

Carasek, H.; Girardi, A. C. C.; Araújo, R. C.; Angelim, R.; Cascudo, C. Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento. *Cerâmica*, v. 64, p. 288-300, 2018.

Carasek, Helena. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo, IBRACON, 2007.

Carasek, Helena. Reboco tradicional. Universidade Federal de Goiás. 2009. Disponível em:[http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa\\_ibracon\\_cap26\\_apresentacao.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf).

Cardoso, J. R.A. Uso do agregado de entulho da construção civil de Manaus - AM para obtenção de bloco de argamassa celular. 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

Careddu, N; Marras, G. Marble processing for future uses of CaCO<sub>3</sub>- micro fine dust: A study on wearing out of tools and consumable materials in stone working factories. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, v. 36, n. 3, p. 183-191, 2015.

Carvalho. J. B. Q; Bezerra. I. M. T.; Souza. J, Neves G. A. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.6, p.639–645, 2011.

Centofante, G.; Dagostini, C. M.; Análise das propriedades de argamassas de revestimento com adição de fibras de polipropileno, *Unesc & Ciência – ACET*, Joaçaba, p.7-16, Edição Especial 2014.

Chiodi Filho, C. Aspectos de interesse sobre rochas ornamentais e de revestimento: Identificação, especificação e utilização. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais –ABIROCHAS. 2002.

Chiodi Filho, C. Balanço das Exportações e Importações de Rochas e de Revestimento no 1º Bimestre de 2012. São Paulo: ABIROCHAS, 2012a. p.7 (Informe n. 04/2012).

Chiodi Filho, C. Estimativa da serragem de chapas de rocha ornamentais no Brasil de 2009 a 2011. São Paulo: ABIROCHAS, 2012b. p.5 (Informe n. 05/2012).

Chiodi Filho, C. O Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento. In: FENAFEG – Feira Nacional de Fornecedores e Empresas de Geologia, 4, 2009, São Paulo. Palestra, São Paulo, Instituto de Geociências. USP, 2009.

Chiodi, C.F. Situação do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento no Brasil– Mercado Interno e Externo. ABIROCHAS- Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Vº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Anais- 2005- Recife –PE.

Cincotto, M. A., Battagin, A. F., & Agopyan, V. (1992). Caracterização de escória granulada de alto-forno e seu emprego como aglomerante e agregado. São Paulo: [s.n.]. Monografia/livro – Nacional.

Colnago, A.; Oliveira, E.; Merlo, K. (2018). Produção de pisos intertravados tipo pavieess com utilização de resíduo de mármore e granito [Production of pavieess interval floors with the use of marble and granite residue]. REEC - Revista Eletrônica De Engenharia Civil,14.

Conama - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). Resolução Nº 307, de 5 de julho de 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 17/07/2002.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Curso de recuperação de áreas degradadas. A visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.

Embrapa Indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação de Solos. Rio de Janeiro:, 2008.

Faria, R. F., Análise do Processamento de Rochas Ornamentais por meio da caracterização de materiais: contribuições para avaliação do consumo energético.2016. 78f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo,2016.

Figueiredo, S. S. Influência da adição de resíduos industriais na durabilidade de blocos solocal. 2015. 125 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de PósGraduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2015.

Filho, H. F. M.; Polivanov, H.; Mothe, C. G.; Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais, Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, Vol. 28-2/2005, p. 139-151.

Fiorito, J.S.I. Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução. São Paulo, PINI, 2003.223p.

Forti, E, Z; Influência da cal hidratada nas características da argamassa de revestimento realizada em obra. TCC, 74p. 2017.

Gonçalves, G. P. Estudo da substituição da cal hidratada por resíduo de mármore na produção de argamassa. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) --Universidade Estadual do

Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2011.

Gonçalves, J. P. Utilização do resíduo de corte de granito(RCG) para a produção de concretos. 2000. 134f. Dissertação (Mestrado) - NORIE/UFRGS, Porto Alegre.

Ibram - Instituto Brasileiro de Mineração. II Inventário de Gases Efeito Estufa do Setor Mineral. Brasília/DF: Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM, 2014.

Kelestemur. O.; Yildiz. S; Gokçer. B; Arici. E. Statistical analysis for freeze- thaw resistance of cement mortars containing marble dust and glass fiber. *Materials & Design*, v. 60, p. 548-555, 2014.

Krüger, P.; Estudo da trabalhabilidade em argamassas e concretos com utilização de RCD. 8º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, 2013.

Leda, A. M.; Batista, A. E.; Sousa, P.A.; Oliveira, F. D.; Avaliação dos Resíduos provenientes do beneficiamento de Rochas Ornamentais para incorporação em argamassa. Universidade Estadual da Paraíba, Conapesc. (2014).

Lima, R. C. O., Neves, G. A., Carvalho, J. B. Q. Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, Paraíba, v. 5.2, p. 24-31, 2010.

Max. M. Aguiar S.; Destefani. A.Z.; Holanda. J.N.F. Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. *Matéria (Rio J.)*. vol.18, n.4, artigo 11514, pp.1442-1450, 2013.

Medeiros, M. Estudo de argamassas de revestimento com resíduo de scheelita. 2016. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

Mehta, P. K. Monteiro, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Ibracon, 2008. 674 p.

Moura, W.A.; Gonçalves, J.P.; Leite, R.S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. *Revista.-Sitientibus*, n.26, p. 49-61. Feira de Santana. Jan/Jun: 2002.

Nakakura, E. H. Análise e Classificação das Argamassas Industrializadas. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil. Boletim Técnico – Série BT/PCC. 2003.

Nakakura, E; Cincotto, M, A; Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 2004.



Paiva, C. T. Proposta de metodologia para análise de passivos ambientais da atividade minerária. Ministério de Minas e Energia - MME. 2006. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir934/RelatConsultoriaApresentaoMME\\_PassivosAmbientais.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir934/RelatConsultoriaApresentaoMME_PassivosAmbientais.pdf)>. Acesso em: 24 jul. 2018.

Paiva. O. A.; Cordeiro. G. C.; Rocha. F. S.; Lima. S. P. B.; Vasconcelos. R. P.; Filho. R. D. T. Aplicação de resíduos ultrafinos de vidro moído em argamassa de cimento Portland. In: 52º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais. IBRACON, 2010.

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos. Congresso. Câmara dos Deputados. Constituição (2012). Política Nacional nº 54, de 18 de maio de 2012. Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2. ed. Brasília, DF: Edições Câmara, p. 7-41, 2012.

Reis. A. S.; Tristão. F. A. Análise de argamassas com resíduo de corte de rochas ornamentais. In: II Congresso Nacional de Argamassas de Construção. 2007.

Reis. R. C.; Sousa W. T. Métodos de lavra de rochas ornamentais. Rem: Revista Escola de Minas. n 56.3 (2003): p. 207-209.

Rodrigues. G. F.; Alves. J. O.; Tenório. J. A. S.; Espinosa D. C. R. Estudo de resíduos de rochas ornamentais para a produção de materiais vítreos. Technol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 8, n. 3, p. 203-207, jul - set 2011.

Roman. H. R.; Tristão. F. A.; Uso de Areia Industrial de Basalto em Argamassas de Revestimento. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2005, p. 59-64.

Russo, M. L. C. et al. Métodos de lavra aplicados à extração de rochas ornamentais. Holos, Natal, v.5, p.167-175.2012. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1057>.

Santos. B. F.; Buzzi. D. C.; Couto. M. C. L.; Lange. L. C. (2010). Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. Eng Sanit Ambient. v.15 n.3. jul/set 2010. p.237-244.

Santos. M. L. L. O. Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil 163f. Tese (Doutorado em engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Natal, RN. 2008.

Sharma. N. K. P. K.; Sanjeev, K.; Thomas. B. S.; Gupta, R. C.; Properties of concrete containing polished granite waste as partial substitution of coarse aggregate. Construction and Building Materials V.151.(2017) p.158–163.

Shirazi. E. K. Reusing of stone waste in various industrial activities. In: International Conference on Environmental Science and Development ipcbee, 2. Anais...Singapura, 2011.

Silva, A.P.A.; Caracterização e classificação ambiental da lama do beneficiamento de rochas ornamentais. TCC - 36p. Campina Grande-PB,2013.

Silva, F.L.; Araujo, F. G. S.; Castro, C. G.; Mendes, J. J.; Von Krüger, F. L. Recycling of Concentration Tailings of Iron Ore for the Production of Concrete Block (Pavers). *Materials Science Fórum*. v. 775-776, p. 631-634, 2014.

Silva. A. C. Caracterização dos resíduos de serragem dos blocos de granito: estudo potencial de aplicação na fabricação de argamassas de assentamento e de tijolo solo-cimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Sant, Vitória,1998.

Silva. J.P.; Castro. N.F. Avaliação da viabilidade do uso de miniunidades de fabricação de argamassas com resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais. In: Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM, 04. Rio de Janeiro. Anais. CETEM/MCTI, 2015.

Silva. N.G.; Campiteli. V. C. Influência dos finos e da classificação nas propriedades das argamassas. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Anais... CD ROM. Florianópolis, 2006. p. 4343 a 4358.

Silveira, L. L. L.; Vidal, F. W. H.; Souza, J. C. Beneficiamento de rochas ornamentais. In: Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. Cap.7, p.329-398.

Sindirochas. Sindicato da Indústria de Rochas Ornamentais, Cal e Calcários do Espírito Santo. Vitória Stone Fair marca retomada do crescimento do setor de rochas. 2013. On-line. Disponível em: <[http://www.sindirochas.com.br/noticia\\_det.php?noticia=698](http://www.sindirochas.com.br/noticia_det.php?noticia=698)>. Acesso em: 17 mai. 2017.

Soares, R. B. Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com a incorporação de resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo, centro tecnológico Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Vitória, 2014.

Souza. V. C. M.; Ripper. T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 2009.

Tenório. J. J. L. Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais. 2007. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

Uliana. J. G. Tratamento Térmico da Lama de Beneficiamento de Rochas Ornamentais. Aplicação Como Pozolana em Matrizes Cimentícias. 2013. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Vitória, 2014.

Vinco, L. G. F.; Oliveira, J.D.; Tristão, F. A.; Vieira, G. L. Technical and economic viability of rendering mortar produced with incorporation of ornamental rocks residue. *Ambient. Construed.* vol.17 n.4 Porto Alegre Oct. /Dec. 2017.