



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

Wesley Darwin Borges de Farias

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CORTE
DO MÁRMORE E GRANITO EM ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO**

Campina Grande, PB – Brasil

Abril de 2017

Wesley Darwin Borges de Farias

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CORTE
DO MÁRMORE E GRANITO EM ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Banca Examinadora,
como exigência para conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental da Universidade
Estadual da Paraíba.

Área de habilitação: Engenharia
Sanitária e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. William de Paiva

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

F224e Farias, Wesley Darwin Borges de.
Estudo da viabilidade da incorporação dos resíduos de corte do mármore e granito em argamassa para revestimento [manuscrito] / Wesley Darwin Borges de Farias. - 2017.
54 p. : il. color.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.
"Orientação: Prof. Dr. William de Paiva, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Rocha ornamentais. 2. Resíduo de mármore. 3. Resíduo de granito. 4. Argamassa. I. Título.

21. ed. CDD 553.5

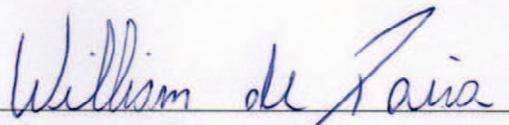
Wesley Darwin Borges de Farias

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CORTE
DO MÁRMORE E GRANITO EM ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO**

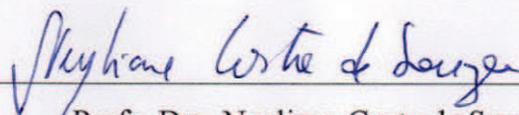
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência para conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba.

Aprovado em: 19 de 04 de 17.

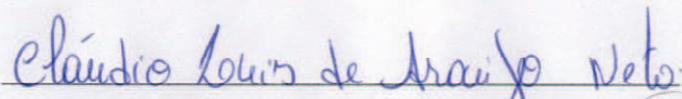
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. William de Paiva
(Orientador DESA/UEPB)



Profa. Dra. Neyliane Costa de Souza
(Examinadora DESA/UEPB)



Prof. Me. Claudio Luis de Araujo Neto
(Examinador NPEG/FMN)

Dedico primeiramente a Deus, que nos criou e foi criativo nesta tarefa. Seu fôlego de vida em mim me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidade. E em segundo lugar, dedico aos meus pais por serem anjos em minha vida, me ajudando nos momentos em que mais precisei, não somente para a conclusão desta pesquisa, como para tudo que já vivenciei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela sua bondade e amor para comigo, que me fez voar como águia, me supriu, deu-me saúde, força e me fortaleceu até o dia de hoje, para superar todas as dificuldades.

Agradeço ao bom Deus novamente, pela minha vida, a vida dos meus pais, namorada, familiares e amigos, onde permitiu que este momento fosse vivido por mim, trazendo alegria aos meus pais e a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço de forma especial ao meu pai Wilson de Farias à minha mãe Eluaine Aparecida Borges de Farias, por não medirem esforços para que eu pudesse levar meus estudos adiante e à minha namorada Itanara Jessica Leão Martins por me apoiar a cada segundo do dia, me motivando e depositando toda sua confiança.

Agradeço às oportunidades, e a todas as dificuldades que enfrentei, pois estas foram meu melhor remédio contra a inércia. Aos meus familiares por contribuírem com seu melhor, dentro de suas possibilidades, com o início e fim deste ciclo.

Minha eterna gratidão a todos aqueles que colaboraram para que este objetivo pudesse ser concretizado. Meus professores e companheiros de sala, com quem pude aprender o significado real de agregar.

Ao meu orientador, William de Paiva, por contribuir com o que talvez sejam os ingredientes mais escassos no mercado hoje, a motivação, dedicação e confiança e a banca por terem aceitado o convite.

Agradeço a todos que, mesmo não estando citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta, umas das etapas da minha formação pessoal e profissional.

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.” (Walter S. Landor)

RESUMO

A habitação adequada é um fator de grande importância para o desenvolvimento de qualquer ser humano e com o cidadão brasileiro não é diferente, contudo, a construção civil é o principal consumidor de recursos naturais do planeta e um dos maiores desafios contemporâneos é conciliar esta demanda com o desenvolvimento sustentável. Portanto, a utilização de materiais alternativos pode contribuir para minimizar os impactos ambientais e, ainda, melhorar a qualidade dos materiais. O resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) gerados nas indústrias de rochas ornamentais do Brasil é uma delas. Porém um dos problemas enfrentados pelo RCMG reside no fato de serem depositados nos arredores das empresas ou em barragens de rejeito improvisadas. A presente pesquisa propõe uma forma adequada de destinação do resíduo de corte de mármore e granito. Assim, além de procurar uma solução de destinação ambientalmente correta e economicamente viável para as indústrias, objetiva-se também uma solução direcionada ao seu reaproveitamento. A forma de reaproveitamento proposta é através da incorporação do RCMG em argamassa para revestimento de paredes e teto, composta por uma areia siltosa (massame) e cimento Portland, com traço 1:7 (cimento e massame), escolhido de um planejamento fatorial. Realizou-se a substituição de parte da massa de cimento por equivalente de 5, 10 e 15% de massa RCMG. As variáveis controle utilizadas foram o fator água/cimento, variando entre 1 e 2 e o percentual, em massa, de substituição do cimento pelo resíduo. Com relação à resistência, observou-se que a mesma atingia seu máximo valor aos 28 dias, segundo a NBR 13281 (2001) e que a maior resistência foi observada quando se verificou o menor fator água/cimento. A densidade apresentou uma redução com o aumento do percentual dos resíduos, a retenção de água e resistência indicaram uma argamassa classificada como II- Normal de acordo com a NBR 13281 (2001). Portanto, o RCMG mostra ser uma alternativa viável economicamente, pois reduz os custos das matérias primas além de reduzir a quantidade de resíduos de rochas ornamentais depositados em locais inadequados.

Palavras-chave: Rochas ornamentais. Resíduo de corte de mármore e granito. Argamassa.

ABSTRACT

Adequate habitation is a factor of great importance for the development of any human being, and with the Brazilian citizen is no different, but, civil construction is the main consumer of natural resources on the planet, and one of the greatest contemporary challenges is to reconcile this demand with sustainable development. Therefore, the use of alternative materials can contribute to minimize environmental impacts and, further, improve the quality of materials. The waste of marble and granite dust (WMGD) generated in the ornamental rocks industries of Brazil is one of them. But one of the problems faced by the WMGD is that they are deposited in the vicinity of the companies or in improvised tailings dams. The present research proposes an adequate form of destination of waste of marble and granite dust. Thus, in addition to seeking an environmentally correct and economically viable destination solution for the industries, we also aim an orientated solution at its reuse. The suggested form of reuse is through of the incorporation of WMGD in mortar for wall and ceiling covering composed of silt sand and Portland cement, with a 1: 7 trace (cement and silt sand), chosen of a factorial planning. Replacement of part of the cement mass was performed by equivalent of 5, 10 and 15% of WMGD mass. The control variables used were the water/cement factor, ranging from 1 to 2 and the percentage, by mass, of cement replacement by the waste. Regarding the resistance, it was observed that it reached its maximum value at 28 days, according to NBR 13281 (2001) and that the higher resistance was observed when the lowest water/cement factor was verified. The density presented a reduction with the increase of the percentage of the waste, the retention of water and the resistance indicated a mortar classified as II-Normal according to NBR 13281 (2001). Therefore, the WMGD proves to be an economically viable alternative, because it reduces raw material costs and reduces the amount of ornamental rocks waste deposited in unsuitable locations.

Keywords: Ornamental Rocks. Waste of marble and granite dust. Mortar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição da produção bruta de rochas ornamentais no Brasil	18
Figura 2 - Preparo da Argamassa manualmente	33
Figura 3 - Molde dos Corpos de Prova.....	33
Figura 4 - Preparo dos Corpos de Prova.....	34
Figura 5 - Exemplos de Corpos de prova prontos	35
Figura 6 - Determinação do Índice de Consistência.....	36
Figura 7 - Determinação do Índice de Consistência.....	37
Figura 8 - Resistência à Compressão Simples para a escolha do traço padrão	39
Figura 9 - Densidade em função do traço da argamassa	41
Figura 10 - Resistência à compressão simples das argamassas com RCMG	42
Figura 11 - Pareto para a variável resistência à compressão simples.....	43
Figura 12 - Mapa de contorno dos valores de resistência à compressão simples.....	44
Figura 13 - Pareto para a variável índice de consistência.....	45
Figura 14 - Mapa de contorno dos valores do Índice de Consistência	46
Figura 15 - Pareto para a variável retenção de água.....	47
Figura 16 - Mapa de contorno dos valores da retenção de água.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Cimento Portland.....	28
Tabela 2 - Tabela de Aplicação dos tipos mais comuns do CP.....	29
Tabela 3 - Matriz de planejamento inicial para escolha do traço padrão a ser utilizado.....	38
Tabela 4 - Matriz de planejamento da composição dos materiais da argamassa	40
Tabela 5 - Matriz de planejamento referente à resistência à compressão simples	43
Tabela 6 - Matriz de planejamento referente ao índice de consistência da argamassa	44
Tabela 7 - Matriz de planejamento referente à retenção de água	46
Tabela 8 - Exigências mecânicas e reológicas para argamassas	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RCMG - Resíduo de Corte de Mármore e Granito

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAA - Concreto Auto Adensável

SINROCHAS - Sindicato Intermunicipal das Indústrias de Beneficiamento de Mármore, Granitos e Rochas Ornamentais

MDIC - Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

SSS - Saturada Superfície Seca

RDM - Revestimento Decorativo Monocamada

CP - Cimento Portland

RS - Cimento Portland Resistente a Sulfatos

BC - Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação

CPB - Cimento Portland Branco

DOE - Design of Experiments

UEPB - Universidade Estadual da Paraíba

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande

LTDA - Sociedade Empresarial de Responsabilidade Limitada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	CENÁRIO NACIONAL DAS ROCHAS ORNAMENTAIS	18
2.2	TIPOLOGIA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS E SEUS PRODUTOS COMERCIAIS.....	19
2.3	GERAÇÃO DE RESÍDUO E ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO	19
2.3.1	Resíduos	19
2.3.2	Estudos Relevantes da Utilização de Resíduos de Mármore e Granitos	20
2.3.3	Polpa Abrasiva	22
2.4	MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	22
2.4.1	Argamassa	22
2.4.1.1	Argamassa para assentamento de alvenaria.....	23
2.4.1.2	Argamassa de revestimento	23
2.4.2	Agregados	24
2.4.2.1	Propiedades do Agregado	24
2.4.3	Areia	24
2.4.4	Água	25
2.4.5	Aditivos Químicos	25
2.4.6	Cimento	26
2.4.6.1	Classificação do Cimento Portland.....	26
2.5	NORMAS DA ABNT.....	29
2.6	PLANEJAMENTO FATORIAL	30
3	METODOLOGIA	32
3.1	ETAPAS DO PROJETO	32
3.2	COLETA E AMOSTRAGEM DOS RESÍDUOS	32
3.3	DETERMINAÇÃO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES.....	33
3.4	DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA.....	35
3.5	RETENÇÃO DE ÁGUA	37

3.6	PLANEJAMENTO INICIAL PARA ESCOLHA DO TRAÇO	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	CARACTERIZAÇÃO E COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS	40
4.2	DENSIDADE.....	40
4.3	RESITÊNCIA	42
4.4	PLANEJAMENTO FATORIAL	42
4.4.1	Análise da resistência à compressão simples	42
4.4.2	Análise do Índice de Consistência	44
4.4.3	Análise da retenção de água	46
4.5	CLASSIFICAÇÃO DA ARGAMASSA APÓS GERAÇÃO SUPERFÍCIE RESPOSTA SEGUNDO A NBR 13281 - 2001	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 INTRODUÇÃO

A habitação adequada é um fator de grande importância para o desenvolvimento de qualquer ser humano e com o cidadão brasileiro não é diferente. O problema com o déficit de habitações existe desde a Revolução Industrial, quando os pólos econômicos se deslocaram para as cidades grandes, com isso a população em sua maior parte de origem rural transferiu-se para estas cidades. Logo foi possível perceber o surgimento de habitações precárias, em virtude do desacerto entre a oferta e a procura por habitações que atendam as necessidades das classes populares.

Apesar dos aspectos negativos, grandes conquistas foram obtidas, mas o déficit habitacional continua sendo um grande problema, visto que o crescimento do país não parou e que este problema caminha lado a lado com o crescimento, mas este não é o único problema que merece destaque, outros problemas de grande proporção são desencadeados pelo crescimento desproporcional do Brasil. A produção industrial voltada para atender as necessidades do homem acaba gerando uma quantidade maior de resíduos e como consequência o impacto ambiental é inevitável.

Em vista dessas situações tornou-se necessário o desenvolvimento e a implantação de medidas e soluções que possam reduzir, reutilizar ou reciclar estes resíduos visando a sustentabilidade. As indústrias de rochas ornamentais estão diretamente inseridas no grupo de grandes geradores de resíduos, sendo estes gerados desde a extração até a serragem, corte e polimento dos blocos e placas.

A maioria dos processos produtivos são potenciais fontes geradoras de resíduos, os quais, em muitos casos, são altamente poluentes ou provocam algum tipo de prejuízo ambiental.

Grande parte das empresas do segmento de beneficiamento de mármore e granito, ainda não possuem uma gestão eficiente para o material residual oriundo do corte, muitas vezes não há uma área para descarte licenciada, de acordo com as exigências legais do Município, que apresente viabilidade para a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, principalmente no que se refere a custo de transporte e destinação.

Esse material devido à dificuldade de descarte e também às suas propriedades mecânicas, vem sendo estudado para diversos fins, entre eles, enquanto incremento de um percentual de adição mineral em CAA (Concreto Auto Adensável), como componente na fabricação de cerâmicas, na utilização de argamassas para revestimento de paredes e tetos

entre outros. Partindo destes estudos, apresentam-se novas possibilidades de uso deste Resíduo de Corte de Rochas ornamentais, em especial de Mármore e Granito.

Segundo Reis e Alvarez (2007), o desenvolvimento da cadeia produtiva no setor de rochas ornamentais no Brasil é relativamente recente, haja vista que as atividades de lavra tiveram início na década de 1940, o beneficiamento industrializado apenas na década de 1970 e as exportações na década de 1990.

De acordo com Djane *et al* (2007), a atividade de beneficiamento das rochas ornamentais está presente na cidade de Campina Grande no estado da Paraíba, apesar de ser muito importante do ponto de vista social e econômico para a população do município, a atividade apresenta problemas relacionados com a geração de resíduos e sua disposição final. A problemática envolvendo a disposição final destes resíduos fez com que órgãos públicos e empresários do setor buscassem alternativas para melhorar a gestão e gerenciamento destes resíduos.

Os resíduos gerados no beneficiamento das rochas ornamentais são oriundos principalmente no momento do corte das placas ou blocos, onde a polpa constituída de água, granalha, cal moída e pó de pedra são acrescentados nos teares com o objetivo de lubrificar e resfriar as lâminas para evitar sua oxidação. O problema desses resíduos reside no fato de serem depositados nos arredores das empresas ou em barragens de rejeito improvisadas. Sabe-se que a necessidade de desenvolvimento sustentável e escassez de recursos naturais fazem com que busquem maneiras ambientalmente corretas de dispor os resíduos gerados. Com isso a incorporação dos resíduos de corte de mármore e granito (RCMG) em argamassa para revestimento de paredes e tetos, é alternativa que se enquadra nesses novos conceitos.

A construção civil é um setor que vive um bom momento e que absorve grandes quantidades de insumo de origem mineral, diante do grande crescimento deste setor, do passivo ambiental gerado na indústria de rochas ornamentais e do déficit habitacional que nosso país vive, verifica-se portanto, a importância do aproveitamento desse resíduo, tanto para o Brasil, quanto para a Paraíba, especialmente Campina Grande. Logo, é de suma importância a preocupação com estudos que tornem o setor de rochas mais sustentável do ponto de vista ambiental. Portanto o presente trabalho busca viabilizar a incorporação de resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) em argamassa de revestimento, como forma de reduzir os custos com argamassa e de buscar uma destinação final adequada para o resíduo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é o estudo para incorporação dos resíduos de corte do mármore e granito (RCMG) em argamassa de revestimento (reboco) de paredes e teto, composta por massame (areia siltosa) e cimento Portland, com a finalidade de reduzir os custos da argamassa e também o impacto ambiental gerado pelo resíduo.

1.1.2 Objetivos Específicos

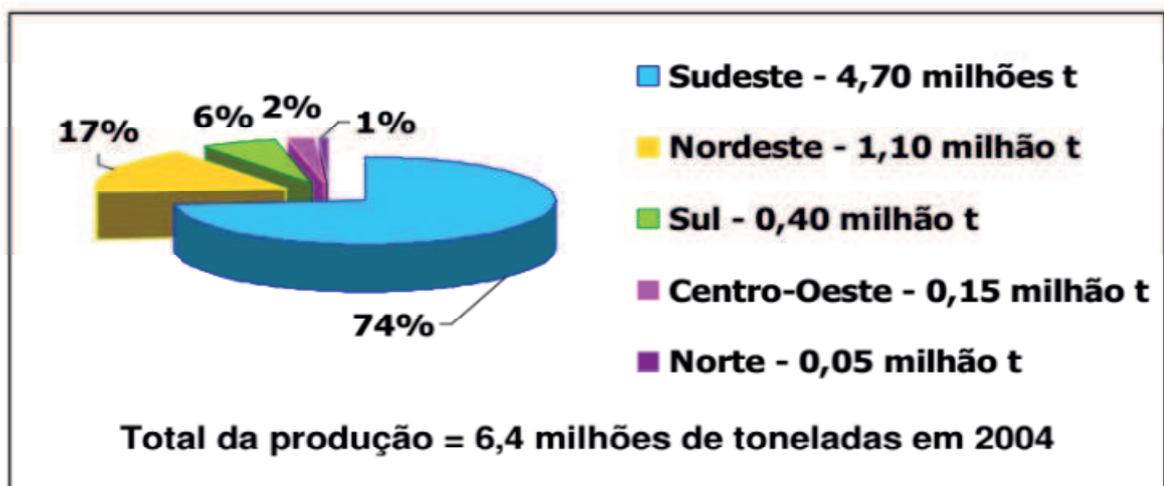
- Escolher o traço ideal e mais usual utilizado em Campina Grande - PB para a argamassa de revestimento (reboco), através do planejamento fatorial, dentro os traços usuais 1:6, 1:7 e 1:8.
- Caracterizar e composição das argamassas;
- Otimizar do percentual de RCMG e fator água/cimento na argamassa de cimento Portland e massame através do planejamento fatorial, com base nas seguintes variáveis: resistência à compressão simples, índice de consistência e retenção de água e densidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CENÁRIO NACIONAL DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

O Brasil é um dos grandes produtores de rochas ornamentais do mercado mundial, sendo responsável pela produção de, aproximadamente, 600 tipos de rochas comerciais, derivadas de quase 1500 jazidas, que são geridas por cerca de 300 empresas mineradoras. Só no beneficiamento de granitos e mármore, cerca de 250 empresas administram mais de 1500 teares, com capacidade produtiva de 40 milhões de m²/ano. O acabamento final nas rochas é executado por mais de 6.500 marmorarias em todo Brasil (SINROCHAS-MG, 2003). Do total a produção de rochas no país, 74% estão concentrados na região Sudeste, conforme Figura 1.

Figura 1 – Distribuição da produção bruta de rochas ornamentais no Brasil



Fonte: SINROCHAS, 2003

Contudo, enquanto as exportações nacionais de rochas ornamentais caíram 5,30%, em faturamento, do ano de 2014 para 2015, na Paraíba cresceu 13,03%. No quadro nacional de exportadores a Paraíba está em quinto lugar, só perdendo para a Bahia, Ceará, Espírito Santo e Minas Gerais.

Ao lado da Bahia, Ceará e Pernambuco à Paraíba é um dos destaques nordestinos, nas exportações de rochas ornamentais brasileiras que cresceram em volume, em 2015, infladas pela desvalorização do real, que provocou a queda no faturamento em dólar. O setor, que, no Brasil, conta com cerca de 10 mil empresas, que geram 120 mil empregos diretos e 360 mil empregos indiretos, exportou, somente em mármore, 26.278 toneladas em 2014 e passou para 35.465 em 2015. Os dados são do MDIC (Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio, 2003).

2.2 TIPOLOGIA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS E SEUS PRODUTOS COMERCIAIS

Segundo Chiodi Filho (1995), as rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, compreendem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se, neste caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, dentre outros.

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente subdivididas em granitos e mármore. Como granitos, enquadram-se, genericamente, as rochas silicáticas, enquanto os mármore englobam as rochas carbonáticas. Alguns outros tipos litológicos, incluídos no campo das rochas ornamentais, são os quartzitos, serpentinitos, travertinos, calcários e ardósias, também muito importantes setorialmente (PEITER; CHIODI FILHO, 2001), incluídos nos grupos de rochas silicosas, sílticoargilosas e ultramáficas.

Os mármore e granitos usados como esculturas, tampos de mesas, bancadas de pias, pisos, soleiras, entre outras, são apenas algumas formas de utilização dessas rochas na construção civil. As rochas são definidas como quaisquer agregados naturais sólidos, compostos de um ou mais minerais. A maioria das rochas pode ser classificada em três grandes grupos: magmáticas ou ígneas; metamórficas e sedimentares (MACHADO *et al.*, 2013).

2.3 GERAÇÃO DE RESÍDUO E ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO

A maior parte dos processos produtivos e indústrias de transformação são grandes fontes geradoras de resíduos, nos três estados da matéria: sólidos, líquidos ou gases, os quais, geralmente, provocam grandes impactos ambientais e contribuem para a degradação e para o prejuízo do meio ambiente.

2.3.1 Resíduos

Atualmente, os termos, “resíduos” ou “rejeito” são empregados para referenciar o material gerado no polimento de granito. Portanto, para facilitar a comunicação, neste

trabalho, optou-se por adotar apenas o termo “resíduos”, pois trata-se de um material de reutilização e ainda se sabe sua viabilidade técnica, possuindo qualquer aprovação para uso dos órgãos ambientais.

A política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei de N^a 12.305 (BRASIL, 2010) – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define resíduo sólido como:

Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estado sólido ou semi-sólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL, 2010)

O reaproveitamento e a reciclagem dos resíduos e o melhor aproveitamento das matérias-primas são vistos por especialistas como a mais eficiente e talvez a única saída para a continuidade do progresso tecnológico do planeta, pois essas medidas atuam em sintonia com as necessidades do mundo atual (MINAS AMBIENTE, 1999). A ciência alavanca a tecnologia, buscando minimizar impactos, diminuir emissões poluidoras e maximizar a vida útil dos recursos naturais não renováveis.

Segundo o CONAMA (2002), o reaproveitamento de resíduos pode ser abordado com três enfoques distintos:

- Recuperação: compreendem na extração e remoção de algumas substâncias presentes nos resíduos, como óxidos, metais;
- Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem que haja qualquer transformação ou beneficiamento do mesmo;
- Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após este ter sido submetido a algum tipo transformação.

2.3.2 Estudos Relevantes da Utilização de Resíduos de Mármore e Granitos

Cerca de 30% dos blocos de granito se transformam em resíduos de diversas formas. Diante desta significativa perda, e de olho em um nicho de mercado que se torna cada vez mais necessário e, possivelmente, lucrativo, alguns pesquisadores têm estudado seu emprego nos processos produtivos utilizados na construção civil. Por exemplo, na produção

de argamassa (CALMON, *et al.*, 1997), tijolos cerâmicos (NEVES, *et al.*, 1999), peças cerâmicas (LIMA FILHO, *ET al.*, 2000) e concretos (GONÇALVES, 2000), com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento sustentável do planeta (GONÇALVES, 2000).

A Itália, sendo um importante produtor de granitos processados e de alto padrão de acabamento, é, portanto, grande geradora de resíduo. No entanto, este país já vem utilizando este resíduo na fabricação de peças prensadas para pavimentação (GONÇALVES, 2000).

Gonçalves (2000) estudou a utilização do resíduo do corte de granito, gerado nos teares e obteve resultados muito satisfatórios. Ele utilizou-se o resíduo como adição mineral nos concretos em percentuais de 10% e 20% da massa do cimento. Segundo estudos do autor, as partículas do resíduo possuíam diâmetro médio de 6,74 μm e não apresentaram propriedades pozolânicas. Porém, a adição do resíduo melhorou o desempenho do concreto, aumentando sua resistência à compressão e à tração, atuando como efeito filler.

Na maioria das empresas brasileiras, a produção de rochas ornamentais é feita a partir da serragem de grandes blocos de pedra, que passam por equipamentos chamados teares e são reduzidas a chapas. Na serragem, cerca de 25 a 30% do bloco é transformado em pó, que é depositado em pátios. Estima-se que no Brasil a geração conjunta de resíduos de corte de mármore e granito é de 240.000 toneladas/ano, distribuídas entre Espírito Santo, Bahia, Ceará, Parnaíba, entre outros estados. Dentro dessa realidade, de acordo com o estudo realizado por Gonçalves (2000), devido ao grande volume de resíduo de corte, o uso de agregados mostra-se uma alternativa a ser estudada.

A utilização de subprodutos industriais na construção civil tem potencial para a redução na geração de resíduos, reduzindo o impacto ambiental e favorecendo o desenvolvimento sustentável, uma vez que a construção civil enquadra-se como potencial poluidor, além de consumir muitos recursos naturais. Os benefícios da incorporação de resíduos na produção de materiais são diversos, inclusive as distâncias de transporte de resíduo e conseqüentemente sua poluição, energia de produção e risco de acidente no transporte.

Muitas das vezes estes resíduos são estocados em pátios a céu aberto ou em alguns casos, jogados em rios sem nenhum tipo de tratamento, provocando problemas de assoreamento, contaminação de águas de rios e córregos e até mesmo contaminação de reservatórios naturais de água.

2.3.3 Polpa Abrasiva

Durante o processo de serragem para o beneficiamento das rochas, realizado em teares tradicionais de lâminas de aço, é gerado um resíduo sólido proveniente da lama ou polpa abrasiva cuja função é lubrificar e resfriar as lâminas de serragem, evitar a oxidação, limpar os canais entre chapas e servir como abrasivo para facilitar a serragem, além do controle de poeira.

A composição da lama abrasiva é basicamente de água, granalha (mini-esferas de aço ou ferro fundido), cal (calcário ou carbureto de cálcio) e rocha moída (GONÇALVES, 2000). O material é distribuído por chuveiros sobre o bloco por meio de bombeamento. A lama infiltra-se nos canais abertos pelas lâminas no bloco, e depois retorna ao tanque de bombeamento, quando novamente é bombeada, configurando-se assim uma operação em circuito fechado (CALMON *et al.*, 1997). Existe ainda a opção de utilizar sistemas de desidratação, como o filtro-prensa, que consiste em um processo de prensagem que elimina da lama abrasiva o excesso de água e devolve à indústria esta mesma água para ser reutilizada e o resíduo úmido obtido é então descartado (CALMON *et al.*, 1997).

Este resíduo é transportado e, posteriormente, depositado em poços e lançados em tanques de deposição final, estes tanques absorvem toda a geração de rejeito do desdobramento. Após atingida esta capacidade, o volume depositado é removido para que o tanque fique novamente pronto para estocagem de nova quantidade de resíduo. Entretanto, não se encontram metodologias de descarte ou reciclagem ambientalmente corretas, e tratando-se de um volume significativo de resíduo, tem-se significativo custo de descarte, fator que leva muitas vezes a um descarte irregular do resíduo, situação com alto potencial de dano ambiental.

2.4 MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.4.1 Argamassa

As argamassas são produtos formados por um ou mais aglomerantes misturados com agregado miúdo e água. Entre os ligantes estão, por exemplo, o cimento Portland, a cal e o gesso e entre os agregados miúdos estão a areia natural ou artificial. Além disso, aditivos e adições minerais podem ser utilizados na mistura a fim de melhorar suas propriedades (CARASEK, 2007).

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2001), argamassa é uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

As argamassas são utilizadas na construção civil como assentamento de blocos de alvenaria, revestimento de paredes e tetos, contrapisos para regularização de superfícies, assentamentos e rejuntamentos de revestimentos cerâmicos ou pedras, além de recuperação de estruturas (CARASEK, 2007). De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 1995), os revestimentos de argamassa são definidos como cobrimentos de superfícies que podem ser executados com uma ou mais camadas superpostas e receber acabamento decorativo ou podem ser o próprio acabamento final, como camada única. As argamassas de revestimento fornecem acabamento às paredes de alvenaria, paredes de concreto e tetos de edificações, de acordo com os requisitos arquitetônicos do projeto.

As funções das argamassas estão associadas diretamente as suas finalidades ou aplicações. As argamassas mais utilizadas são para assentamento de alvenarias ou para revestimento de paredes.

2.4.1.1 Argamassa para assentamento de alvenaria

A argamassa é muito utilizada para a elevação de paredes e muros de tijolos cerâmicos ou blocos de concreto, servindo para uni-los e formar um elemento monolítico, contribuindo para aumentar a resistência aos esforços laterais, além de distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos; serve para selar as juntas, garantindo a estanqueidade da parede à penetração de água das chuvas; absorver as deformações naturais, como as de origem térmica e as de retração por secagem (origem higroscópica) a que a alvenaria estiver sujeita (CARASEK, 2007).

2.4.1.2 Argamassa de revestimento

Argamassa de revestimento é empregada em revestimento de paredes, muros e tetos, e posteriormente poderão ser aplicados diversos acabamentos, como pintura e cerâmicas. A depender do projeto, essa argamassa pode ser constituída de várias formas, podendo ser: com várias camadas (chapisco, emboço e reboco) sendo o mais antigo, camada única, o mais

utilizado atualmente no Brasil e revestimento decorativo monocamada (RDM), também chamado por monocapa, sendo muito empregado na Europa (CARASEK, 2007).

As argamassas de revestimento externo servem para proteger a alvenaria e a estrutura contra os agentes climáticos; melhorar a vedação dos edifícios proporcionando isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais; além de regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação (CINCOTTO *et al.*, 1995; CARASEK, 2007).

2.4.2 Agregados

Segundo BAUER (1994), agregado é o material particulado, incoesivo de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto; nos outros ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome específico; filer, pedra britada, bica corrida rachão.

2.4.2.1 Propriedades do Agregado

A massa específica é necessária para determinar a contribuição de volume que cada material fornece à mistura, bem como o volume de vazios do material. No caso do pó residual de granito, classifica-se como agregado miúdo e a massa específica deve ser calculada por meio do frasco Chapman (ABNT- NBR 9.775-1997).

Outro aspecto relevante do agregado é sua absorção e umidade superficial, quando os poros permeáveis estão saturados e não há película de água em sua superfície, o agregado é considerado na condição saturada superfície seca (SSS), se além de saturado há umidade livre na superfície, sua condição passa para úmida saturada. Quando toda água é evaporada a condição é seca em estufa. A capacidade de absorção é a quantia total de água necessária para levar um agregado da condição seca em estufa para a condição SSS (CARVALHO; FILHO, 2014).

2.4.3 Areia

A areia é um sedimento clástico inconsolidado, de grãos geralmente de natureza quartzosa, cujos diâmetros situam-se entre 150 μm a 4,75 mm (ALBUQUERQUE, 1994).

Mehta & Monteiro (1994) classificam os agregados em graúdo (partículas maiores que 4,8 mm) e miúdo (partículas menores que 4,8 mm) e a NBR 7211/2005 define agregado miúdo como aquele, cujos grãos passam pela peneira 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 150 µm, como as areias.

No âmbito dos materiais de construção, a areia é o agregado miúdo e quanto a sua origem, a areia pode ser classificada como: areia de rio, encontrada nos depósitos dos leitos de rios; areia de cava, quando é extraída por meio de escavação; areia de escória de alto forno, que é um resíduo da produção de ferro gusa; areia de britagem, oriunda das pedreiras e classificada conforme a porcentagem de materiais pulverulentos e por fim, a areia de praia e dunas que não são utilizadas para o preparo de concretos e argamassas, devido ao fato de serem finas e apresentarem elevados teores de sais deletérios aos materiais cimentícios (ALBUQUERQUE, 1994)

2.4.4 Água

A água fornece a hidratação no grau necessário para a cura do cimento, a plasticidade aumenta quando a relação água/cimento cresce. Para a escolha da relação água/cimento, devem ser consideradas a durabilidade e a resistência mecânica. A quantia necessária de água depende das características e proporções dos agregados, e seu grau de intensidade depende da distribuição granulométrica, forma e textura das partículas, sabendo que as partículas arredondadas e lisas são mais favoráveis a um menor consumo de água (GOMES, P.C.C; BARROS, A.R., 2008)

2.4.5 Aditivos Químicos

Os aditivos são substâncias adicionadas intencionalmente aos concretos e argamassas com o intuito de melhorar ou reforçar certas características, como por exemplo: retardar ou acelerar o tempo de pega; diminuir a retração, o calor de hidratação; aumentar a compacidade, a durabilidade; melhorar a trabalhabilidade, a impermeabilidade, entre outras (PETRUCCI, 1998).

Os aditivos químicos podem ser plastificantes, incorporadores de ar, redutores de água, retardadores de pega, modificadores de reologia, inibidores de corrosão, redutores de retração, redutores de permeabilidade, inibidores de reação álcalis-sílica, pigmentos, agentes de adesão, agentes de formação de gás, agentes de coesão, agentes para bombeamento, agentes espumantes, dentre outros (HARTMANN *et al.*, 2011).

2.4.6 Cimento

Segundo Metha e Monteiro (1994), Os cimentos hidráulicos são definidos como os aglomerantes que não só endurecem através de reações com a água, como também formam um produto resistente à água. Os aglomerantes derivados da calcinação da gipsita, ou de carbonatos como a rocha calcária, são não hidráulicos porque seus produtos de hidratação não resistem à água.

As argamassas de cal usadas em estruturas antigas construídas pelos gregos e romanos foram transformadas em hidráulicas por adição de materiais pozolânicos os quais reagiram com a cal para produzir um produto cimentante resistente à água.

Segundo BAUER (1994), cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clinker, constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

O clinker é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente.

2.4.6.1 Classificação do Cimento Portland

- CP I – Cimento portland comum;
- CP I-S – Cimento portland comum com adição;
- CP II-E – Cimento portland composto com escória;
- CP II-Z – Cimento portland composto com pozolana;
- CP II-F – Cimento portland composto com filler;
- CP III – Cimento portland de alto-forno;
- CP IV – Cimento portland Pozolânico;
- CP V-ARI – Cimento portland de alta resistência inicial.

Segundo BAUER (1994), os constituintes fundamentais do cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃), certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO₃), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Tem ainda como constituintes menores, impurezas, óxido de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O), óxido de titânio (TiO₂)

e outras substâncias de menor importância. Os óxidos de potássio e sódio constituem os denominados álcalis do cimento.

Cimento Portland comum (CP-I): O CP-I é o tipo mais básico de cimento Portland, indicado para o uso em construções que não requeiram condições especiais e não apresentem ambientes desfavoráveis como exposição às águas subterrâneas, esgotos, água do mar ou qualquer outro meio com presença de sulfatos. A única adição presente no CP-I é o gesso (cerca de 3%, que também está presente nos demais tipos de cimento Portland). O gesso atua como um retardador de pega, evitando a reação imediata da hidratação do cimento. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 5732 (1991).

Cimento portland comum com adição (CP I-S): O CP I-S, tem a mesma composição do CP I (clínquer + gesso), porém com adição reduzida de material pozolânico (de 1 a 5% em massa). Este tipo de cimento tem menor permeabilidade devido à adição de pozolana. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 5732 (1991).

Cimento portland composto com escória (CP II-E): Os cimentos CP II são ditos compostos, pois apresentam, além da sua composição básica (clínquer + gesso), a adição de outro material. O CP II-E, contém adição de escória granulada de alto-forno, o que lhe confere a propriedade de baixo calor de hidratação. O CP II-E, é recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 11578 (1991).

Cimento portland composto com pozolana (CP II-Z): O CP II-Z contém adição de material pozolânico que varia de 6% à 14% em massa, o que confere ao cimento menor permeabilidade, sendo ideal para obras subterrâneas, principalmente com presença de água, inclusive marítimas. O cimento CP II-Z, também pode conter adição de material carbonático no limite máximo de 10% em massa. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 11578 (1991).

Cimento portland composto com pozolana (CP II-F): O CP II-E é composto de 90% à 94% de clínquer + gesso com adição de 6% a 10% de material carbonático em massa. Este tipo de cimento é recomendado desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 11578 (1991).

Cimento portland de alto-forno (CP III): O cimento portland de alto-forno contém adição de escória no teor de 35% a 70% em massa, que lhe confere propriedades como: baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade, sendo recomendado tanto para obras de grande porte e agressividade como também para aplicação geral em argamassas de

assentamento e revestimento, estruturas de concreto simples e armado. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 5735 (1991).

Cimento portland Pozolânico (CP IV): O cimento portland Pozolânico contém adição de pozolana no teor que varia de 15% a 50% em massa. Este alto teor de pozolana confere ao cimento uma alta impermeabilidade e conseqüentemente maior durabilidade. O concreto confeccionado com o CP IV apresenta resistência mecânica à compressão superior ao concreto de cimento Portland comum à longo prazo. É especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 5736 (1991).

Cimento portland de alta resistência inicial (CP V-ARI): O CP V-ARI assim como o CP-I não contém adições (porém pode conter até 5% em massa de material carbonático). O que o diferencia deste último é processo de dosagem e produção do clínquer. O CP V-ARI é produzido com um clínquer de dosagem diferenciada de calcário e argila se comparado aos demais tipos de cimento e com moagem mais fina. Esta diferença de produção confere a este tipo de cimento uma alta resistência inicial do concreto em suas primeiras idades, podendo atingir 26 MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade. É recomendado o seu uso, em obras onde seja necessário a desforma rápida de peças de concreto armado. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 5733 (1991).

Tabela 1 – Tipos de Cimento Portland

Tipo de cimento	Adições	Sigla	Norma
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana ou fíler (ate 5%)	CP I-S 32 CP I-S 40	5732
Cimento Portland Composto	Escória (6-34%) Pozolana (6-14%) Fíler (6-10%)	CP II-E 32 CP II-E 40 CP II-Z 32 CP II-F 32 CP II-F 40	11578
Cimento Portland de Alto forno	Escória (35-70%)	CP III 32 CP III 40	5735
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (5-50%)	CP IV 32	5736
Cimento Portland de alta resistência inicial	Materiais carbonaticos (ate 50%)	CP V ARI	5733
Cimento Portland resistente aos sulfatos	São designados pela sigla RS		5737

Fonte: Página abcp – Associação Brasileira Cimento Portland, 2015

Tabela 2 – Tabela de Aplicação dos tipos mais comuns do CP

TABELA DE APLICAÇÃO DOS TIPOS MAIS COMUNS DE CIMENTO PORTLAND		
Aplicação		Tipos Utilizados
Argamassa de revestimento e assentamento de tijolos e blocos		Todos
Concreto simples (sem armadura)		Todos
Concreto magro (para passeios e enchimentos)		Todos
Concreto armado com função estrutural		Todos
Concreto protendido	com protensão das barras antes do lançamento do concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-Z, CP II-F)
	com protensão das barras após o endurecimento do concreto	Todos
Concreto armado para desforma rápida	curado por aspersão de água ou produto químico	Todos
	curado a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Todos
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento	desforma após cura, curados por aspersão de água	Todos
	desforma rápida, curados por aspersão de água	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F)
	desforma rápida, curados a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Todos
Pavimento de concreto simples ou armado		Todos
Pisos industriais de concreto		Todos
Solo-Cimento		Todos
Argamassas e concretos para meios agressivos (água do mar e de esgotos)		Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV)

Fonte: Página do Engenheiro no Canteiro, 2015

2.5 NORMAS DA ABNT

Com o intuito de contribuir para a atuação do engenheiro/gestor estabelecendo parâmetros e métodos, apresentam-se abaixo algumas das principais normas vigentes que foram utilizadas no decorrer do trabalho.

NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.

“Esta Norma especifica o método de determinação da resistência à compressão de cimento Portland.” (ABNT, 1996, p.1)

NBR 13276 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.

“Esta Norma prescreve o método de determinação do índice de consistência da argamassa a ser utilizada na realização de ensaios necessários à caracterização do material.” (ABNT, 2002, p.1)

NBR 13277 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.

“Esta Norma prescreve o método para a determinação da retenção de água em argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos.” (ABNT, 1995a, p.1)

NBR 13278 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.

“Esta Norma prescreve o método para a determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado em argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos.” (ABNT, 1995b, p.1)

NBR 13279 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão.

“Esta Norma prescreve o método para a determinação da resistência à compressão de argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos, no estado endurecido.” (ABNT, 1995c, p.1)

2.6 PLANEJAMENTO FATORIAL

A técnica de planejamento fatorial é uma técnica relativamente nova, teve seus primeiros trabalhos publicados na década de 50, mas somente nos últimos anos teve sua utilização em larga escala. Essa técnica objetiva o estudo da influencias de várias variáveis juntas em uma variável resposta, a grande vantagem da mesma com relação às análises isoladas é que trabalha levando em consideração o efeito combinado das variáveis estudadas.

A superfície resposta é uma superfície traçada, sendo formada por eixos independentes (variáveis independentes) e eixos resposta (variável resposta). Que possibilita a visualização dos pontos de otimização da variável resposta.

O procedimento de uso de superfície resposta é sequencial; isto é, quando se está longe do ponto ótimo da resposta, o modelo de primeira ordem ajusta bem os dados atuais. Mas como se quer determinar o ponto ótimo, deve-se procurar uma estratégia eficiente de rapidamente se encontrar as condições operacionais ideais que levem a isso (CALADO; MONTGOMERY, 2003).

A metodologia do planejamento fatorial, associada à análise de superfícies de resposta, é uma ferramenta fundamental na teoria estatística, que fornece informações seguras sobre o processo, minimizando o empirismo que envolve técnicas de tentativas e erro (RODRIGUES, 2009 apud BOX ETALLI, 1978).

A utilização do planejamento fatorial de experimentos pode contribuir com o desenvolvimento industrial pela otimização das grandezas de interesse, pela determinação dos fatores influentes sobre essas grandezas e, eventualmente, pelas suas interações e minimização dos efeitos da variabilidade sobre o desempenho de um processo ou produto (RODRIGUES, 2009 apud BOX ETALLI, 1978).

O planejamento de Experimentos (*Design of Experiments, DOE*) é uma técnica para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletadas durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a precisão estatística possível na resposta e o menor custo.

Atualmente, essa técnica vem sendo utilizada em grande escala. Através dela, pesquisadores podem determinar as variáveis que exercem maior influência no desempenho de um determinado processo, tendo como resultados: i) redução da variação do processo e melhor concordância entre os valores nominam obtidos e os valores pretendidos; (ii) redução do tempo do processo; (iii) redução do custo operacional e (iv) melhoria no rendimento do processo.

Segundo Martinez (2001), os planejamentos fatoriais possuem distintas propriedades utilizadas, dentre elas, citem-se:

- A. Direcionar a pesquisa;
- B. Indicar o tamanho da amostra a ser selecionada;
- C. Permitir fazer múltiplas comparações, e conseqüentemente facilitar o desenvolvimento e crítica dos modelos;
- D. Proporcionar estimadores de parâmetros altamente eficientes (estimadores de parâmetros com variância pequena).

Um planejamento fatorial é aquele no qual se investiga todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores em cada ensaio (BOX *et al*, 1978)

O efeito de um fator pode ser visto como a mudança sofrida pela variável resposta quando se passa do nível baixo para o nível alto do fator. Normalmente, este é conhecido como efeito principal, porque se refere aos fatores de interesse primordial do experimento. O efeito principal de um fato e é a diferença da resposta média entre o primeiro e o segundo nível deste fator.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa firmou-se uma parceria entre a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), onde transcorreu toda pesquisa, desde a preparação da argamassa, montagem e moldagem dos corpos de prova, até o final gerando todos os resultados; a Empresa Granfuji Mármore e Granitos LTDA, que disponibilizaram os resíduos de corte do mármore e granito e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde foram realizados os ensaios de resistência a compressão simples nas dependências do laboratório.

A pesquisa inicia-se com a escolha e análise da resistência à compressão simples dos traços usuais utilizados em Campina Grande-PB para a argamassa de revestimento de paredes e teto, com base no planejamento fatorial, através do programa STATISTICA 7.0.

Com a escolha do traço ideal procedeu-se à otimização do percentual de RCMG na argamassa de cimento Portland e massame (areia siltosa) através do planejamento fatorial, com base nas seguintes variáveis: resistência à compressão simples, índice de consistência e retenção de água. A partir do planejamento fatorial tem-se a geração de superfície resposta para a otimização do percentual do RCMG baseado nas exigências da NBR 13281 (2001).

3.1 ETAPAS DO PROJETO

- I. Coleta do resíduo após o processo de beneficiamento das rochas ornamentais;
- II. Avaliação do desempenho das argamassas quanto à resistência a compressão simples;
- III. Escolha do traço ideal a partir da avaliação da resistência a compressão simples;
- IV. Preparação das argamassas adicionadas do RCMG;
- V. Verificação dos requisitos para argamassa de revestimento de paredes e tetos descritos na NBR 13281 (2001);
- VI. Todo processo descrito acima será precedido de planejamento fatorial e construção de mapas de contorno para otimização dos percentuais de resíduos adicionados na confecção das argamassa de acordo com as NBR 13281 (1996), NBR 13276 (1995), NBR 13277 (1995), NBR 13278 (1995), NBR 13279 e NBR 7215 (1995).

3.2 COLETA E AMOSTRAGEM DOS RESÍDUOS

Os resíduos foram disponibilizados pela Empresa Granfuji Mármore e Granitos LTDA. As argamassas foram preparadas fazendo-se a mistura em massa de cimento,

massame, água potável e resíduo de corte de mármore e granito, na argamassa de traço de referência uma parte de cimento para sete de massame em massa (1:7). A homogeneização dos materiais foi realizada de forma manual de acordo com a Figura 2.

Figura 2 – Preparo da Argamassa Manualmente



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

3.3 DETERMINAÇÃO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

A determinação da resistência à compressão simples seguiu as determinações da norma brasileira NBR 7215 (1996) e 13279 (1995).

Inicialmente, o método compreendeu a determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

Figura 3 – Molde dos Corpos de Prova



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

Os corpos de prova foram elaborados com massa de cimento CP II E-32, massame, água potável e o resíduo de corte de mármore e granito, disponibilizados pela Empresa Granfuji, na argamassa de traço de referência uma parte de cimento para sete de massame em massa (1:7), com relação água/cimento variando entre 1 e 2. A argamassa foi preparada manualmente, onde os moldes que contêm os corpos de prova foram conservados em atmosfera úmida para cura inicial; em seguida os corpos de prova foram desmoldados e submetidos à cura em água.

A moldagem dos corpos de prova foi feita imediatamente após o amassamento e com a maior rapidez possível. Para tanto, foi necessário que o recipiente que contém a argamassa estivesse junto aos moldes durante o adensamento, conforme a NBR 7215 (1996). A colocação da argamassa na forma foi feita com o auxílio da espátula, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com o soquete normal, homogeneamente distribuído. Esta operação terminou com a raspadura do topo dos corpos de prova, por meio da régua, deslizando sobre as bordas da forma em direção normal, dando-lhe também um ligeiro movimento de vai e vem na sua direção.

Logo após a moldagem, os corpos de prova, ainda nos moldes, foram colocados em ambiente aberto, sem exposição ao sol, onde permaneceram durante 20 h a 24 h, com a face superior protegida por uma placa de vidro plano. Os corpos de prova referentes aos diferentes amassamentos foram aleatoriamente agrupados em séries distintas de quatro corpos de prova, sendo cada série relativa a uma idade.

Figura 4 – Preparo dos Corpos de Prova



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

Terminando o período inicial de cura, os corpos de prova foram retirados das formas, identificados e, exceto aqueles que tinham que ser rompidos com 24 h de idade, foi imersos, separados entre si no tanque de água, onde permaneceram até o momento do ensaio. Desde que são retirados da câmara úmida e até o instante do ensaio de compressão, os corpos de prova foram protegidos de maneira que toda a superfície exterior permaneceu úmida.

Na determinação da carga da ruptura, foram realizadas no laboratório da UFCG, onde os corpos de prova foram rompidos à compressão nas idades especificadas. A idade de cada corpo de prova é contada a partir do instante em que o cimento é posto em contato com a água de mistura.

A velocidade de carregamento da máquina de ensaio, ao transmitir a carga de compressão ao corpo de prova, foi equivalente a $(0,25 \pm 0,05)$ MPa/s, segundo a norma.

Calculou-se a resistência à compressão, em megapascals, de cada corpo de prova, dividindo a carga de ruptura pela área da seção do corpo de prova, que será mostrada nos resultados. Calculou-se a média das resistências individuais, em megapascals, dos quatro corpos de prova ensaiados na mesma idade, e o resultado foi arredondado ao décimo mais próximo.

Figura 5 – Exemplos de Corpos de prova prontos



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

3.4 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

A determinação de índice de consistência seguiu as determinações da norma brasileira NBR 13276 (2002).

Antes de iniciar a execução, limpou-se a parede do molde tronco-cônico com uma esponja umedecida, de modo que as superfícies ficaram ligeiramente úmidas.

Figura 6 – Determinação do Índice de Consistência



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

Logo após a preparação da argamassa, utilizou para encher o molde tronco-cônico, colocado de modo centralizado sobre a mesa para índice de consistência. Enquanto segurava o molde, encheu em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicou-se em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com o soquete, de maneira a distribuí-las uniformemente. Se houvesse a necessidade, completaríamos o volume do molde com mais argamassa.

O rasamento da argamassa foi realizado passando a régua metálica rente à borda do molde tronco-cônico, com movimentos curtos de vai e vem ao longo de toda a superfície. Elimina-se qualquer partícula em volta do molde com uma esponja umedecida.

Imediatamente após a retirada do molde, mediu-se com o paquímetro o espalhamento do tronco-cônico original de argamassa. Estas medidas foram realizadas em três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro.

O índice de consistência da argamassa corresponde à média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo.

Figura 7 – Determinação do Índice de Consistência



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

3.5 RETENÇÃO DE ÁGUA

A determinação retenção de água seguiu as determinações da norma brasileira NBR 13277 (1995).

Inicialmente prepara-se a argamassa a ser utilizada neste ensaio. Pesa-se o molde seco e limpo na balança com resolução de 0,1 g e registra-se a massa (M_m). Pesa-se 12 discos de papel filtro secos na balança com resolução de 0,01 g e registra-se também sua massa (M_{se}). Encha-se o molde com argamassa, utilizando a espátula e coloca-se 10 incrementos aproximadamente iguais, até formar um pequeno excesso.

Rasa-se o excesso com a lâmina da espátula, apoiando sobre a borda do molde, fazendo movimento de vai e vem em toda a superfície e numa única passada para eliminar apenas o excesso.

Passa-se novamente a espátula no sentido contrário, no sentido de alisá-la. Logo após isso, limpam-se as bordas do molde. Pesa-se molde com argamassa rasada na balança com resolução de 0,1 g e registrar sua massa (M_{ma}).

Coloca-se sobre a superfície da argamassa duas telas de gaze, o conjunto de 12 discos de papel-filtro e a placa rígida, e aplica-se centralizadamente, o peso de 2 kg, acionando imediatamente o cronômetro.

Após os 2 minutos, retira-se o peso de 2 kg e a placa base. Remove-se o conjunto de papéis-filtro e leva ao prato da balança com resolução de 0,01 g. Pesa-se rapidamente e registra a massa dos discos molhados (Mf).

Calculou-se a retenção de água (Ra) através da seguinte equação:

$$Ra = \left[1 - \frac{(Mf - Mse)}{AF \times (Mma - Mm)} \right] \times 100$$

Equação 1: Retenção de água

Onde:

Mw = massa total de água acrescentada à mistura, em g;

M = massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros no caso de argamassa de obra, em g;

AF = fator água/argamassa fresca; $AF = Mw / M + Mw$;

Mf = massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro, em g;

Mse = massa do conjunto de discos secos, em g;

Mma = massa do molde com argamassa, em g;

Mm = massa do molde vazio, em g.

Obs: Expressa-se o resultado em %, arredondando ao número inteiro mais próximo.

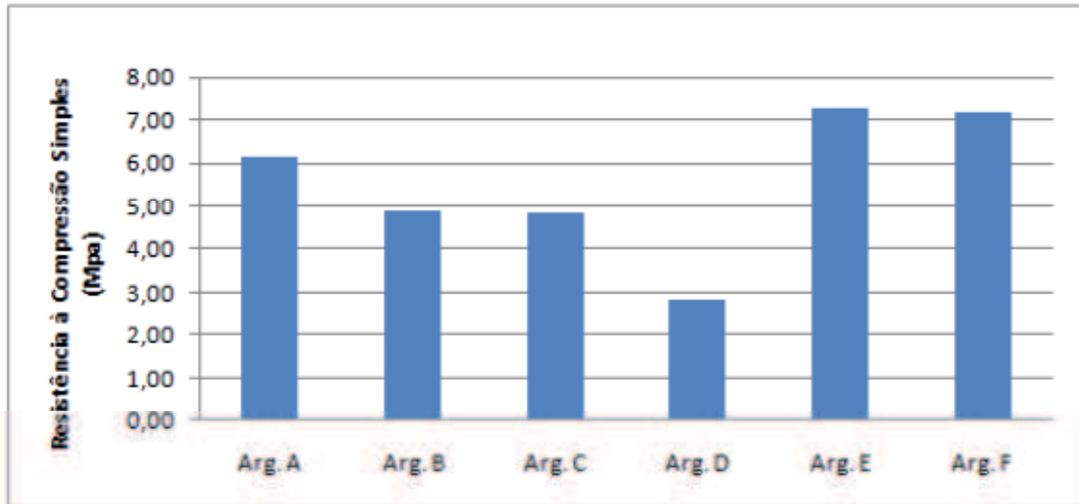
3.6 PLANEJAMENTO INICIAL PARA ESCOLHA DO TRAÇO

Inicialmente fez-se uma matriz de planejamento para a escolha do melhor traço de cimento e massame (areia siltosa) que iria utilizar. Fizeram-se vários testes com traços variando de 1:6 - 1:8 e fator água/cimento de 1 - 2, onde analisa-se a resistência à compressão simples de cada grupo de quatro corpos de prova de acordo com a Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Matriz de planejamento inicial para escolha do traço padrão a ser utilizado

Argamassas	Água/cimento	Traço
Arg. A	1	1:6
Arg. B	1	1:8
Arg. C	2	1:6
Arg. D	2	1:8
Arg. E	1	1:7
Arg. F	2	1:7

Fonte: Dados da pesquisa, 2016

Figura 8 - Resistência à Compressão Simples para a escolha do traço padrão

Fonte: Dados da pesquisa, 2016

A partir dos dados gerados, e através da Tabela 3 e Figura 8, é possível concluir que, o melhor traço a ser utilizado foi o da Argamassa E e F, com um traço de 1:7 (cimento e massame), devido ter uma maior resistência à compressão simples. Para cada argamassa foi confeccionado quatro corpos de prova, onde o resultado da resistência à compressão simples foi à média entre eles, no período de cura de 28 dias, segundo a norma 13281 (2001).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Anteriormente foram detalhados os procedimentos de execução dos ensaios que foram realizados. Neste item serão apresentados e discutidos os resultados e os detalhes de tratamentos dos dados obtidos com a execução do planejamento fatorial.

4.1 CARACTERIZAÇÃO E COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS

Após a escolha do traço, todos os corpos de prova de argamassa foram produzidos com um traço de 1:7 (cimento e massame) sendo a variável independente o fator água/cimento e o percentual de resíduo incorporado na argamassa. Para cada composição foram produzidos quatro corpos de prova. Por isso, para facilitar a compreensão, os corpos de prova de argamassa de mesma composição serão agrupados conforme o fator água/cimento e percentual de resíduo em relação à massa de cimento. A Tabela 4 apresenta a matriz de planejamento utilizada na composição dos materiais da argamassa.

Tabela 4 – Matriz de planejamento da composição dos materiais da argamassa

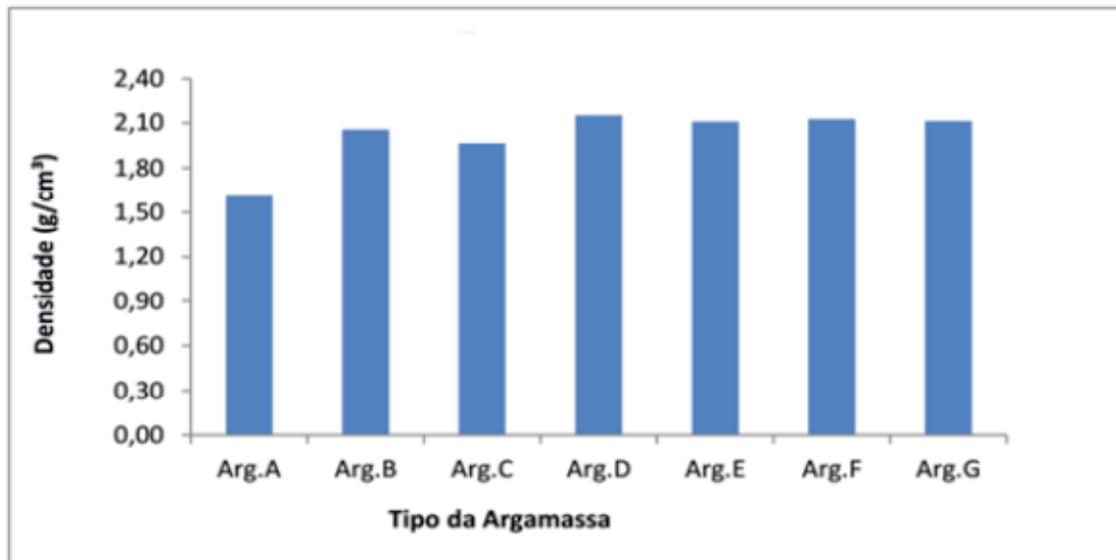
Argamassa	Fator água/cimento	Percentual de Resíduos
Arg. A	2	15
Arg. B	1	15
Arg. C	2	5
Arg. D	1	5
Arg. E	1,5	10
Arg. F	1,5	10
Arg. G	1,5	10

Fonte: Dados da pesquisa, 2016

4.2 DENSIDADE

As argamassas possuem uma série de propriedades que assumem determinada relevância em função de sua aplicação. Algumas propriedades podem ser caracterizadas como sendo determinantes no estado fresco, e outras no endurecido. A densidade é uma das propriedades das argamassas que influencia nas características durante a sua vida útil e pode ser determinada tanto no estado fresco como no endurecido. A Figura 9 apresenta os resultados da densidade de massa no estado fresco.

Figura 9 - Densidade em função do traço da argamassa



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

Observa-se que a densidade das argamassas varia conforme a adição do resíduo e do fator água/cimento. A argamassa do tipo D apresentou uma maior densidade. Já a argamassa do tipo A, apresentou uma menor densidade. Sendo assim, a adição do resíduo de corte de mármore e granito corrobora para a redução da densidade.

As argamassas do tipo A e B apresentam o mesmo percentual de resíduo de 15%, porém verifica-se uma diferenciação nas densidades, provavelmente o fator água/cimento é o responsável por tal diferenciação, uma vez que a argamassa A apresenta um fator água/cimento de 2 e a argamassa do tipo B de 1. O mesmo acontece para as argamassas do tipo C e D que possuem percentual de resíduo de 5% e fator água/cimento de 2 e 1 respectivamente. Com isso demonstra-se que a menor incorporação de água na argamassa favorece a acentuação da densidade.

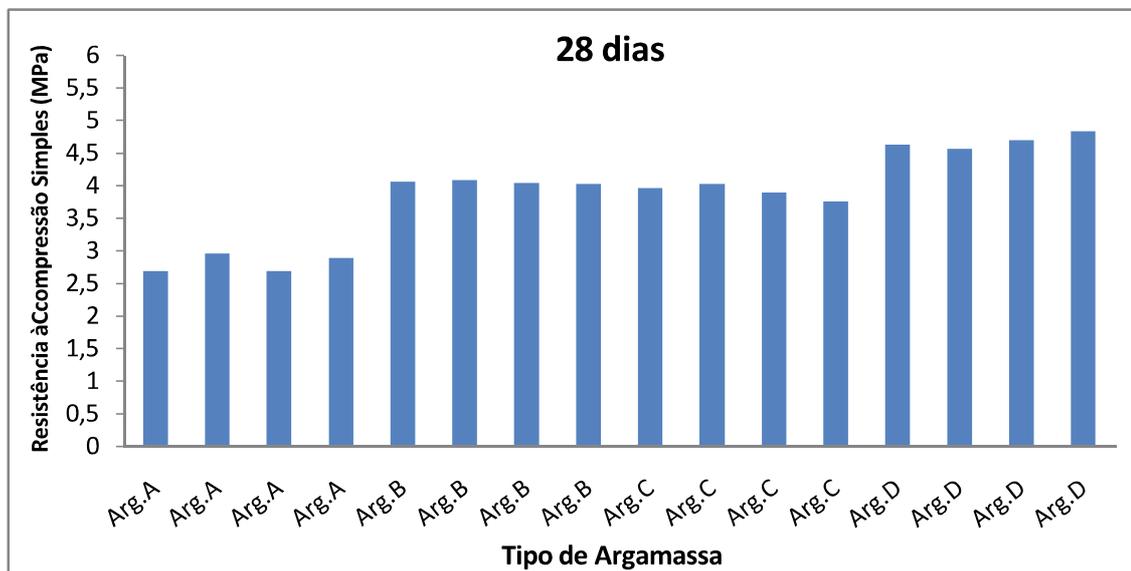
O valor da densidade de massa da argamassa é um indicativo da compacidade resultante da proporção de mistura agregado/aglomerante e da distribuição granulométrica do conjunto; determina indiretamente o volume de vazios incorporados pelos aditivos e a quantidade de água de amassamento perdida por evaporação.

A redução da densidade nas argamassas pode favorecer sua aplicabilidade, pois quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será em longo prazo, o que reduz o esforço do operário na sua aplicação, resultando em um aumento de produtividade.

4.3 RESISTÊNCIA

Observam-se na Figura 10 as resistências mecânicas obtidas para os diferentes tipos de argamassa. A argamassa do tipo D, apresentou uma melhor resposta, tendo uma resistência aproximada a 5 MPa. A argamassa do tipo C, que configurou-se com o mesmo percentual de resíduo da argamassa do tipo D, teve uma resistência abaixo, devido provavelmente ao fator água/cimento que foi de 2, onde corrobora que, quanto menor for o percentual de resíduo e fator água/cimento, maior será sua resistência à compressão simples.

Figura 10 - Resistência à compressão simples das argamassas com RCMG



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

De modo geral, os resultados obtidos são satisfatórios, e a resistência dos materiais comportou-se como esperado, haja vista que, obteve-se uma resistência à compressão simples de 7,19 Mpa para a argamassa no traço 1:7 sem a incorporação de resíduo. Enquadrando se inicialmente em argamassa II, segundo a NBR 13281 (2001).

4.4 PLANEJAMENTO FATORIAL

4.4.1 Análise da resistência à compressão simples

A Tabela 5 mostra que o melhor traço em relação à resistência a compressão simples foi o que é composto pelo fator água/cimento igual a 1 e percentual de resíduos de 5% (argamassa D, média dos 4 corpos de prova).

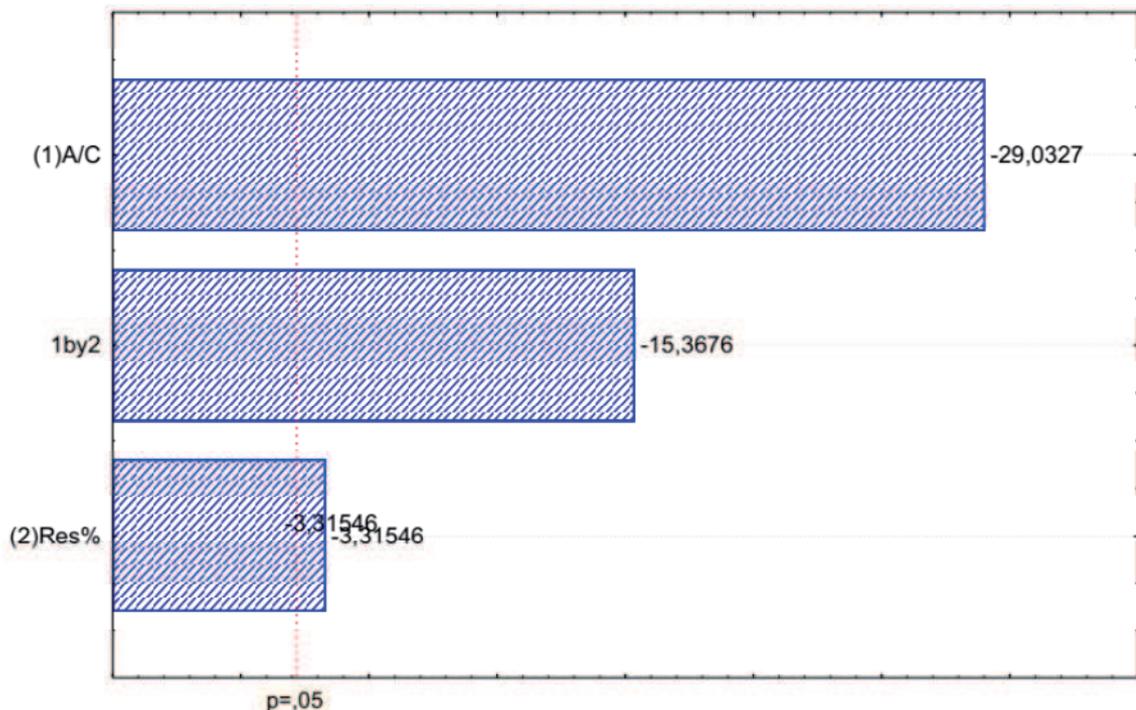
Tabela 5 - Matriz de planejamento referente à resistência à compressão simples

Tipo de Argamassa	Fator água/cimento (A/C)	Percentual de Resíduos (%)	Resistência a Compressão (Mpa)
Arg. A	2	15	2,88
Arg. B	1	15	4,04
Arg. C	2	5	3,92
Arg. D	1	5	4,68

Fonte: Dados da pesquisa, 2016

A Figura 11 apresenta o Gráfico de Pareto para a variável resistência à compressão simples, do planejamento fatorial. Observa-se que as variáveis de controle independentes (fator água/cimento e percentual de resíduo) influenciam na variável dependente (Resistência a Compressão Simples) ao nível de 5% de significância, obtivendo um modelo com 98,9% de coeficiente de determinação.

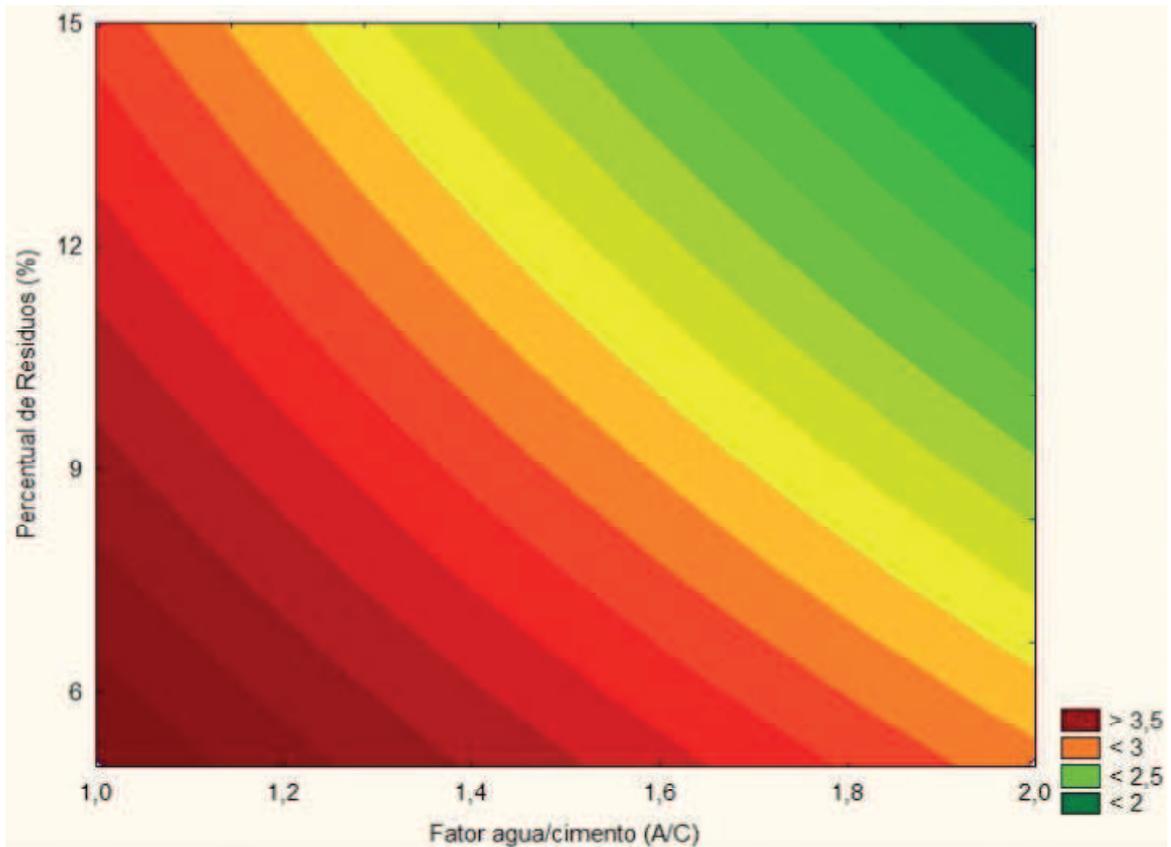
Figura 11 - Pareto para a variável resistência à compressão simples



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

A Figura 12 apresenta o mapa de contorno dos valores de resistência à compressão simples que mostra a redução desse parâmetro com o aumento do fator água/cimento e a incorporação dos resíduos.

Figura 12 – Mapa de contorno dos valores de resistência à compressão simples



4.4.2 Análise do Índice de Consistência

A Tabela 6 mostra que o índice de consistência tem uma relação direta com o fator água/cimento, desta forma deve-se ter sempre o objetivo de procurar uma consistência adequada para o trabalho sem que haja uma queda muito acentuada a resistência.

Tabela 6 – Matriz de planejamento referente ao índice de consistência da argamassa

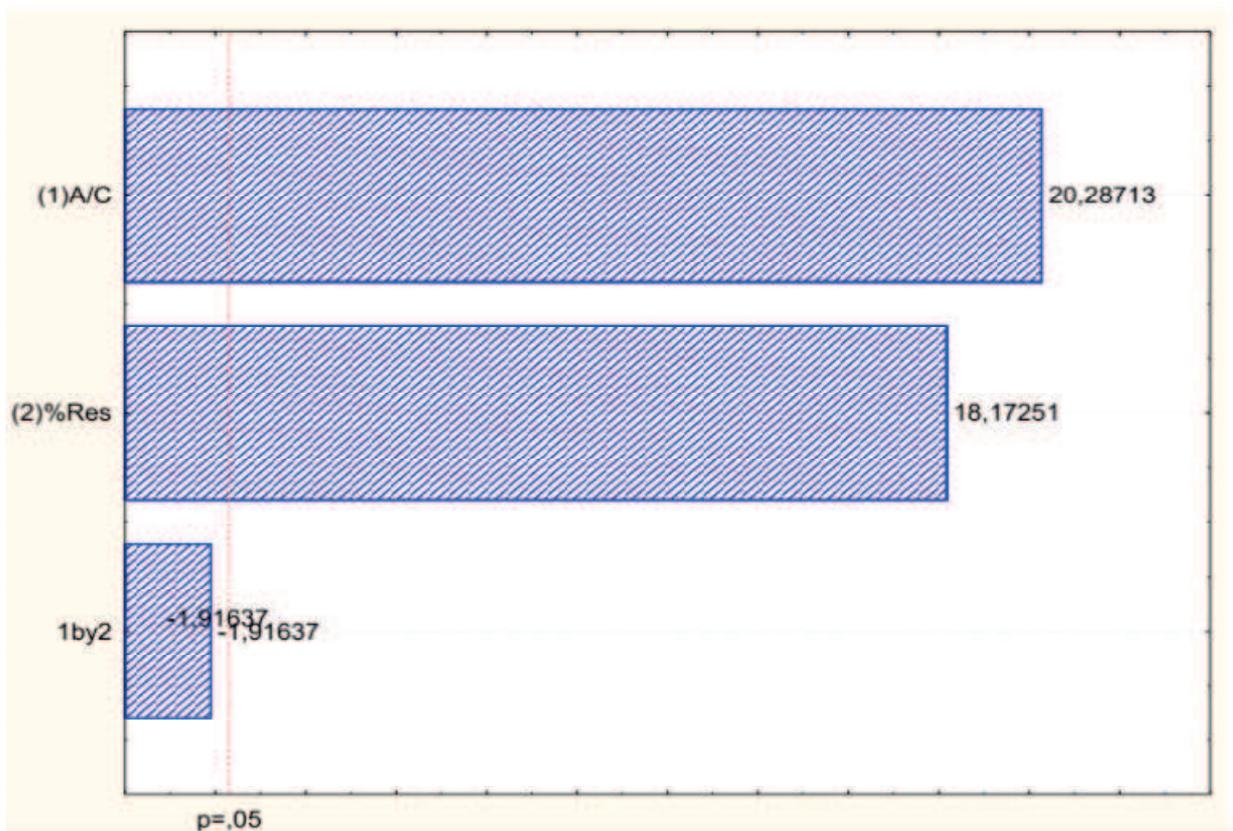
Tipo de Argamassa	Fator água/cimento (A/C)	Percentual de Resíduos (%)	Índice de Consistência (mm)
Arg. A	2	15	359
Arg. B	1	15	313
Arg. C	2	5	318
Arg. D	1	5	262

Fonte: Dados da pesquisa, 2016

Observa-se que esse índice apresenta uma relação direta com o fator água/cimento, mostrando que, quanto maior esse fator maior será a consistência. Deve-se lembrar da relação existente entre o fator água cimento e a resistência da argamassa.

A Figura 13 apresenta o Gráfico de Pareto para a variável dependente índice de consistência, do planejamento fatorial. Verifica-se que ambas as variáveis independentes influenciam na consistência final da argamassa, porém não há interação entre eles. Argamassa D apresenta um melhor índice de consistência, vista que, a argamassa D tem uma menor dispersão.

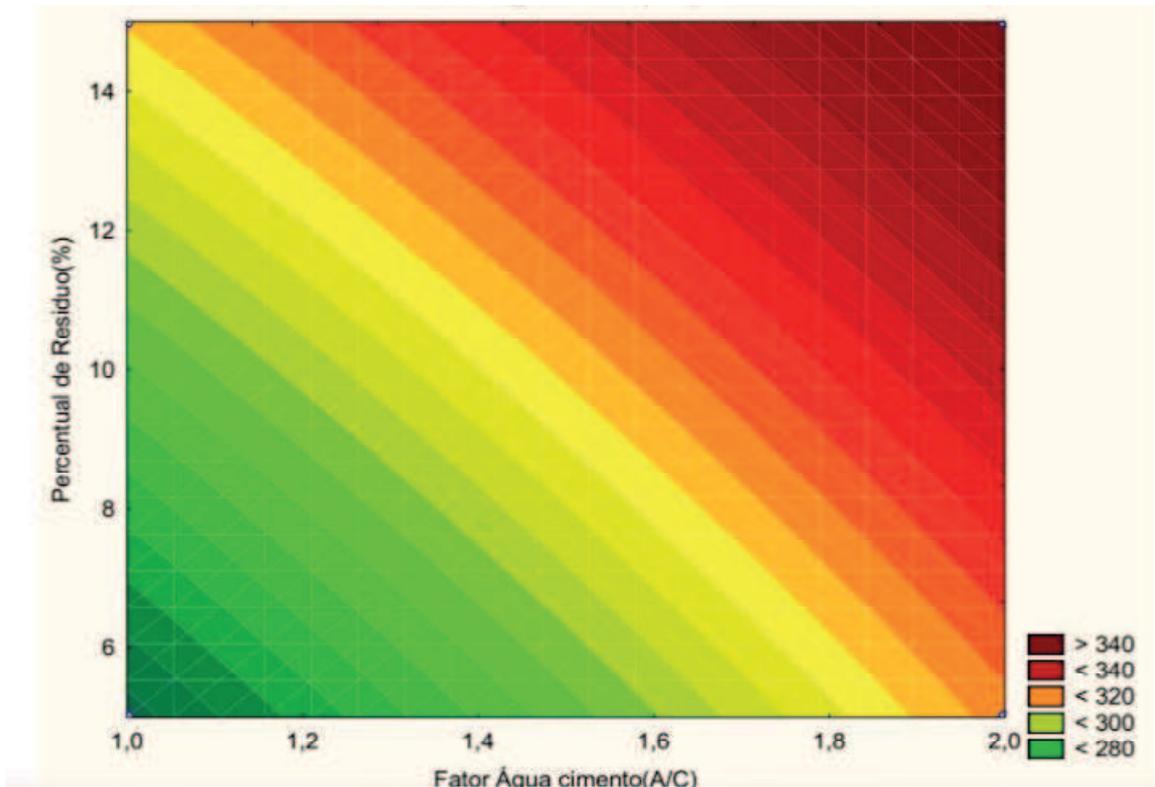
Figura 13 - Pareto para a variável índice de consistência



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

A Figura 14 mostra o mapa de contorno dos valores do índice de consistência que, observa-se o aumento da mesma com o fator água/cimento e o percentual de resíduos, pois o aumento da consistência vem acompanhado dos maiores valores das variáveis independentes estudadas.

Figura 14 – Mapa de contorno dos valores do Índice de Consistência



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

4.4.3 Análise da retenção de água

A Tabela 7 mostra que, após o teste de retenção da água, os resultados variaram entre 86 a 90%, tendo como êxito o experimento, pois, segundo a NBR 13281 (2001), a argamassa foi classificada como Normal devido ter uma retenção de até 90%.

Tabela 7 – Matriz de planejamento referente à retenção de água

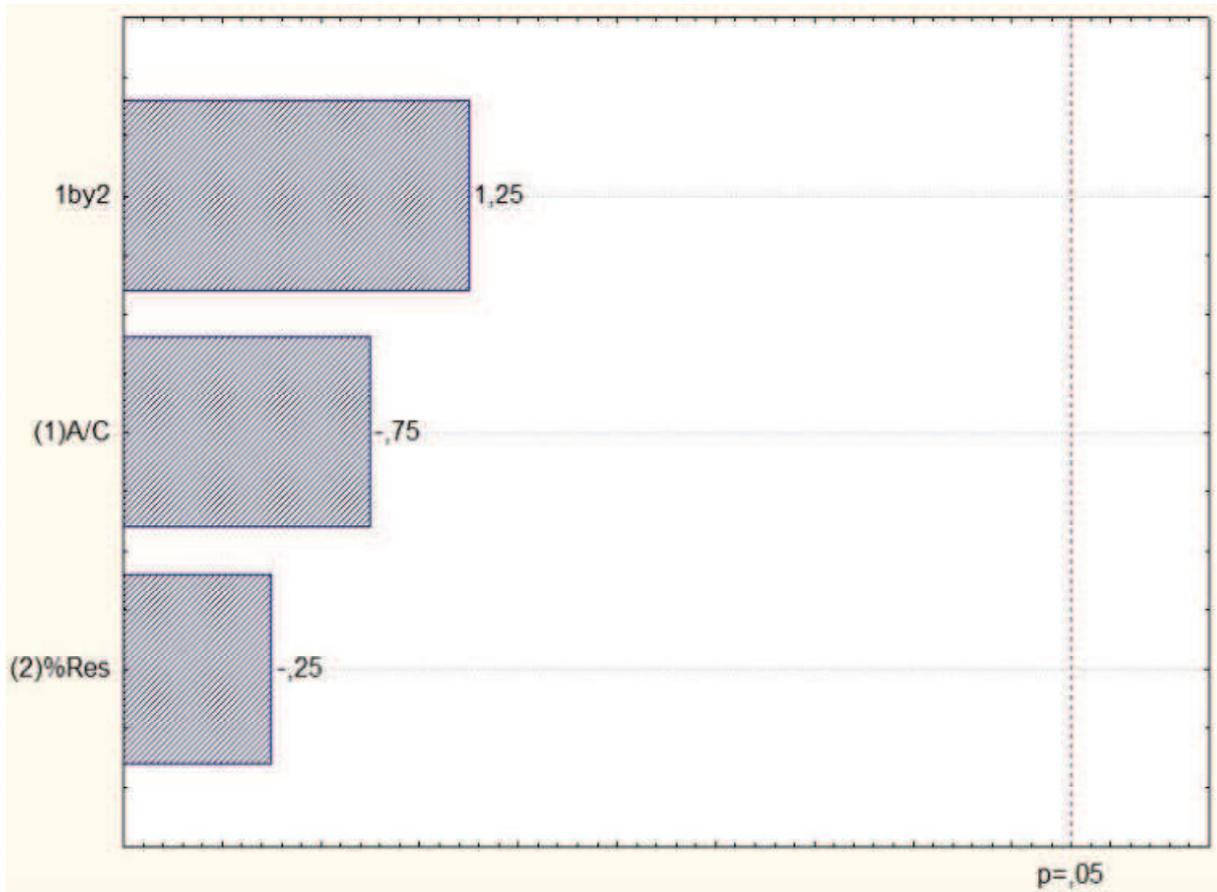
Tipo de Argamassa	Fator água/cimento (A/C)	Percentual de Resíduos (%)	Retenção de água (%)
Arg. A	2	15	88
Arg. B	1	15	87
Arg. C	2	5	86
Arg. D	1	5	90

Fonte: Dados da pesquisa, 2016

A Figura 15 apresenta o gráfico de Pareto para a variável retenção de água, do planejamento fatorial. Verifica-se que ambas as variáveis independentes não vão influenciar

na retenção de água da argamassa, e também não irá haver qualquer interação entre eles, contudo, não há necessidade, pois os resultados estão de acordo com a NBR 13281 (2001).

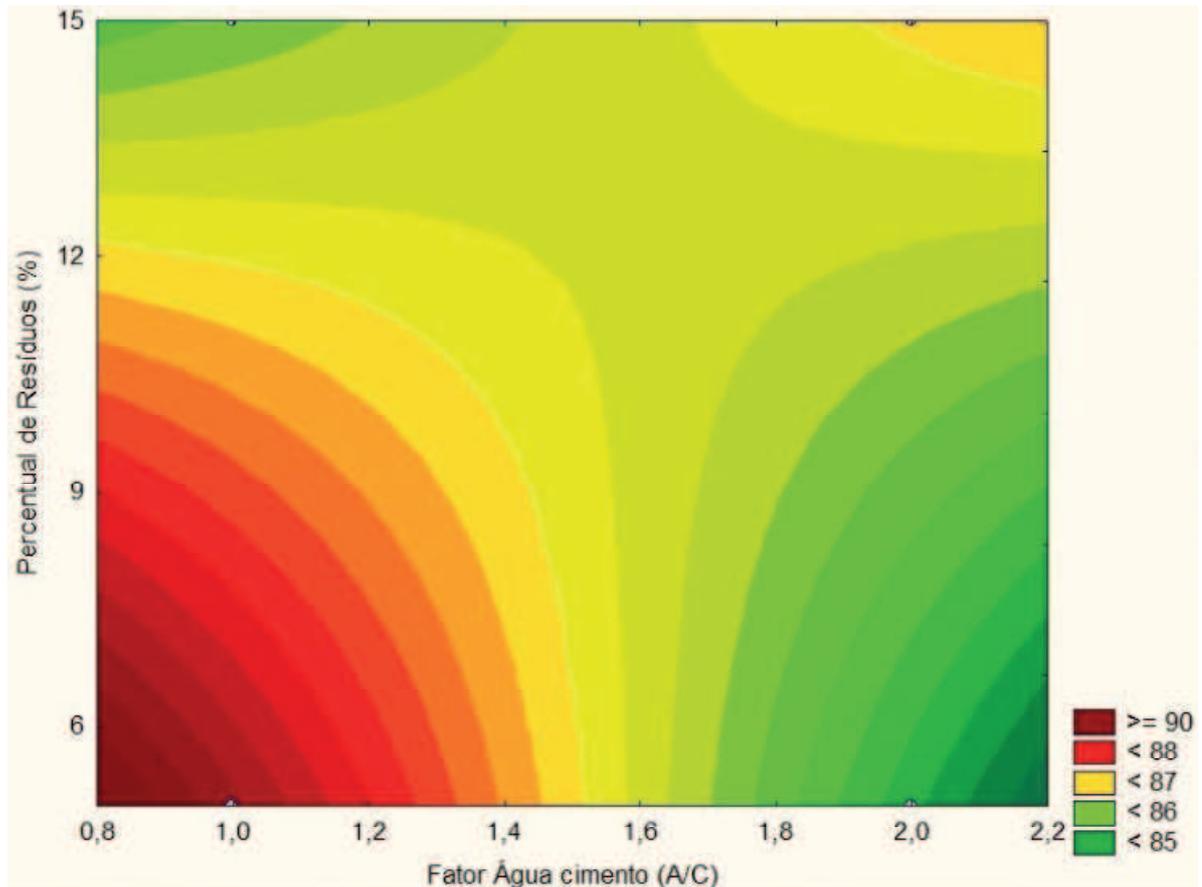
Figura 15 - Pareto para a variável retenção de água



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

A Figura 16 mostra o mapa de contorno dos valores de retenção de água que, observa-se uma diminuição da retenção de água da argamassa, quando aumenta-se o valor da variável independente (fator água/cimento), contudo, a análise final é de não haver uma interação entre eles, já que as variáveis independentes não vão influenciar na variável dependente a análise de retenção da argamassa.

Figura 16 – Mapa de contorno dos valores da retenção de água



Fonte: Dados da pesquisa, 2016

4.5 CLASSIFICAÇÃO DA ARGAMASSA APÓS GERAÇÃO SUPERFÍCIE RESPOSTA SEGUNDO A NBR 13281 – 2001

Após vários testes realizados em argamassas com adição do RCMG e com os resultados obtidos, utilizou-se a NBR 13281 (2001) para comparar e analisar se a argamassa obtida através dos experimentos realizados vão está de acordo com as conformidades e exigências indicadas pela norma e Tabela 8 abaixo:

Tabela 8 – Exigências mecânicas e reológicas para argamassas

Características	Identificação ¹⁾	Limites	Método
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	≥ 80 e ≤ 90	NBR 13277
	Alta	> 90	
Teor de ar incorporado (%)	a	< 8	NBR 13278
	b	≥ 8 e ≤ 18	
	c	> 18	

¹⁾ Exemplo de identificação de argamassa: I-Normal-a.

Fonte: Página da NBR 13281 – 2001

De acordo com os resultados mostrados anteriormente, a argamassa estudada através dos testes de Resistência à compressão em 28 dias e Capacidade de retenção de água, classifica-se como II - Normal de acordo com a NBR 13281 (2001). O experimento Teor de ar incorporado não pôde ser realizado nessa pesquisa por falta de equipamento. Foi ainda feita a compra, porém não chegou a tempo para realização do mesmo para o fim da pesquisa, contudo a pesquisa mostrou a viabilidade da incorporação do resíduo de corte do mármore e granito, desde que alguns ensaios a mais sejam realizados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a grande quantidade de avaliações realizadas em argamassas com adição de RCMG, na quantidade de 5%, 10%, 15%, para as condições experimentais adotadas nesta pesquisa, pode-se concluir que:

- A pesquisa mostrou a viabilidade da incorporação do resíduo de corte do mámore e granito;
- Os resultados apresentaram uma argamassa com o desempenho aceitável com um traço de uma porção cimento para sete de massame (1:7);
- Os valores do percentual de resíduo em substituição a massa de cimento e fator água/cimento, foram respectivamente 5% e 1 (argamassa D);
- De acordo com os resultados a argamassa estudada classifica-se como II - Normal de acordo com a NBR 13281 (2001), para as características da resistência a compressão simples e capacidade de retenção de água.

Contudo, o estudo da incorporação de RCMG na argamassa mostra-se possível, desde que alguns ensaios a mais sejam realizados, como por exemplo, teor de ar incorporado e a utilização em uma parede teste para verificar ou não fenômenos como a fosforescência da granalha de ferro e as possíveis fissuras.

Todavia, o RCMG mostra ser uma alternativa viável economicamente, pois reduz os custos das matérias primas e ainda melhora a qualidade das argamassas, além de minimizar a quantidade de resíduos de rochas ornamentais gerados no planeta, contribuindo assim, com a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP, **Tipos de Cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/quais-sao-os-tipos-de-cimento-portland/>>. Acesso em: 15 de março de 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5733**: EB2 - Cimento Portland com Alta Resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5735**: EB208 - Cimento Portland de Alto Forno. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5736**: Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5737**: Cimento Portland resistentes a Sulfato. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5752**: Cimento Portland comum - índice de atividade pozolânica. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 9775**: Agregados – Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 11578**: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1981.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão simples. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisito. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

ALBUQUERQUE, A. S. Agregados. In: BAUER, L. A. F. (Coord.). **Materiais de Construção I**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1994. cap.4.

ALESSANDRA Savazzini REIS, A. S. *et al.* **A Sustentabilidade e o Resíduo Gerado no Beneficiamento das rochas Ornamentais**, 2007.

- BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção I**. 5ª ed. Editora Afiliada: Rio de Janeiro, 1994.
- BRASIL, Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010-Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).
- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G e HUNTER, J.S.(1978). **Statistics for experimenters: An introduction to desingns, data analysis and model building**. Wiley. New York.
- CALADO, V.; MONTGOMERY, D. **Planejamento de Experimentos Usando o Statística**. Rio de Janeiro: Papers Serviços Editoriais, 2003.
- CALMON, J. L. *et al.* Reciclagem do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas. Encontro Nacional de Edificações e Comunidades Sustentáveis. **Anais**. Canela. ANTAC, 1997.
- CARASEK, H. Argamassas. In: **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. cap.26, p.863-903.
- CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Calculo e detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. Ed. Edufscar, 2014.
- CHIODI FILHO, C. **Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais**. Rio de Janeiro: CNPq/CETEM, 1995. (Série Estudos e Documentos, 28)
- CINCOTTO, M.A., SILVA, M. A. C., CARASEK, H. **ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO: Características, propriedades e métodos de ensaio**. Boletim 68. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas –IPT, 1995.
- DJANE, F. O. *et al.* **Sinal Verde-Gestão Ambiental: A Experiência do CEGAMI, EDUEP**. Campina Grande, 2007.
- DOS REIS, Alessandra Savazzini; DE ALVAREZ, Cristina Engel. **A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais**. 2007. Disponível em: <http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007_artigo_009.pdf>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2017.
- E civil Net, **Tipos de Cimento Portland**. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland_tipos.htm>. Acesso em: 15 de março de 2017
- Engenheiro no Canteiro, **Tipos de Cimento Portland**. Disponível em: <<http://engenheironocanteiro.com.br/tipos-de-cimento-portland/>>. Acesso em: 15 de março de 2017
- GOMES, P. C. C. *et al.* LIMA, FB de; BARBOZA, ASR. **Concreto Auto-Adensável: Obtenção, Propriedades e Aplicações**. Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais, 4º, 2008.
- GONÇALVES, J, P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. 2000. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2000.

HARTMANN, C.; JEKNAVORIAN, A.; SILVA, D.; BENINI, H. Aditivos Químicos para Concretos e Cimentos. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, v.1, p. 357-380, 2011.

INSTITUTO EUVALDO LODI. **Projeto Rochas de Minas**: Estudo de Competitividade do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: IEL-MG/SINROCHAS-MG, 2003.

LIMA FILHO, V. X., BEZERRA, A. C., SANTOS, F. C., NOGUEIRA, R. E. F. Q., FERNANDES, A. H. M., **Estudo da viabilidade técnica da substituição dos pós cerâmicos convencionais por pó de granito na injeção de peças cerâmicas à baixa pressão**. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. **Anais**. Nov/2000, Natal/RN, (b).

MACHADO R.B.; RIBEIRO, R.C.C.; ANDRADE F.V. **Utilização de rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e da adubação de solos tropicais**. XVI Jornada de Iniciação Científica–CETEM. p.120-126. Rio de Janeiro, 2006.

MARTÍNEZ, E. M. **Desenvolvimento de um modelo estatístico para aplicação no estudo da fadiga em emendas dentadas de madeira**. 2001. Tese de Ciência e Natura, UFSM, v. 28, n. 1, p. 7-21, 2006.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 249 p

MINAS AMBIENTE. **Ensino e desenvolvimento tecnológico para controle ambiental na indústria: pesquisa tecnologia para controle ambiental em unidades independentes de produção de ferro-gusa de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1999, 140 p. Relatório Técnico.

NEVES, Gelmires, PATRICIO, S. M. R., FERREIRA, H. C., SILVA, M. C., **Utilização de resíduos da serragem de granitos para a confecção de tijolos cerâmicos**. In: 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais**. Florianópolis/SC. Jun/1999

PEITER, C.C.; CHIODI FILHO, C. **Rochas Ornamentais no Século XXI**: Bases para um Política de Desenvolvimento Sustentado das Exportações Brasileiras. Rio de Janeiro: CETEM/ABIROCHAS, 2001. 160 p.

PETRUCCI, Eladio G.R. **Concreto de Cimento Portland**. 13º ed. São Paulo: Globo, 1998

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). **Concrete Technology**. Disponível em: <http://www.cement.org/tech/cct_port_cem_prod_tech.asp>. Acesso em 20 de fevereiro de 2017.

Resolução CONAMA 307. **Dispõe sobre gestão dos resíduos da construção civil**. Julho de 2002

RODRIGUES, M.I e Lemma, A.F.(2009). **Planejamento de Experimentos & Otimização de Processos**. 2ed. Ed. Campinas-SP: Casa do Espírito Amigo e Fraternal Fé e Amor, Campinas, Brasil, 618p.

RODRIGUES, M. I. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. 2ª ed. Campinas – SP: Casa do Espírito Amigo fraternidade Fé e Amor, 2009.

SINDIROCHAS (Sindicato das Indústrias de Rochas Ornamentais, Cal e Calcários do Estado do Espírito Santo). Espírito Santo. 2007. Disponível em:<<http://www.sindirochas.com.br/>>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2017.