



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CAMPUS DE POMBAL-PB**

LUIZA THAYNARA MURICY DE SOUZA SILVA

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS MINERAIS PARA USO NA
INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

POMBAL-PB

2017

LUISA THAYNARA MURICY DE SOUZA SILVA

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS MINERAIS PARA USO NA
INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^ª Dra. CIBELLE GUIMARÃES SILVA SEVERO

Coorientadora: Prof^ª Dra. ELISÂNGELA PEREIRA DA SILVA

POMBAL-PB

2017

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL
CAMPUS POMBAL/CCTA/UFCG**

MON
S586r

Silva, Luisa Thaynara Muricy de Souza.

Reciclagem de resíduos industriais minerais para uso na indústria da construção civil / Luisa Thaynara Muricy de Souza Silva. – Pombal, 2018. 56f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2017.

“Orientação: Profa. Dra. Cibelle Guimarães Silva Severo”.

“Co-orientação: Profa. Dra. Elisângela Pereira da Silva”.

1. Resíduos industriais - reciclagem. 2. Indústrias minerais. 3. Resíduo de granito. 4. Resíduo de caulim. 5. Construção civil. 6. Planejamento experimental. 7. Argamassa. I. Severo, Cibelle Guimarães Silva Severo. II. Silva, Elisângela Pereira. III. Título.

UFCG/CCTA

CDU 628.4.038 (043)

LUISA THAYNARA MURICY DE SOUZA SILVA

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS MINERAIS PARA USO NA
INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Aprovado em 11 / 12 / 2017

BANCA EXAMINADORA

Cibelle Guimarães Silva Severo

Profª. Dra. Cibelle Guimarães Silva Severo
Orientadora – UFCG/Campus de Pombal – PB

Aline Costa Ferreira

Profª. Dra. Aline Costa Ferreira
Examinador(a) Interno(a) – UFCG/Campus de Pombal - PB

Loredanna Melyssa Costa de Souza

Profª. Msc. Loredanna Melyssa Costa de Souza
Examinador(a) Externo(a) – Professora Substituta – UEPB/Campus
Araruna

Pombal – PB
Dezembro 2017

*À minha mãe, Leoneide, à minha irmã,
Gabriela, e ao meu namorado, Ulisses, por
acreditarem no meu potencial, por todo
apoio e amor.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me guiar durante minha jornada, e por permitir que momentos difíceis se tornassem pequenos diante dos dias de glória.

À minha mãe, Leoneide (Joana), por ser minha referência de mulher, por toda confiança a mim depositada, por todo amor e dedicação durante todos os dias de minha vida, e pelo apoio financeiro.

À minha irmã, Gabriela, por estar presente em todos os momentos acreditando, apoiando e dedicando parte do seu tempo a me ajudar, por todo amor e paciência, e pelos melhores conselhos dados.

Ao meu namorado, Ulisses, por todo amor, parceria e dedicação, durante minha jornada na Universidade, por todos os momentos vividos, e por sempre enxergar o meu melhor.

À minha família e aos meus amigos, que acreditam no meu potencial.

À minha orientadora, Prof^ª. Dra. Cibelle Guimarães Silva Severo por depositar confiança em mim desde o princípio, por todos os ensinamentos, oportunidades e orientação.

Às minhas amigas, Ingrid e Laiany, por toda paciência, companhia e alegria durante a graduação, dividindo momentos difíceis e de glória. À Sayonara, que sempre esteve disponível para dar conselhos e ensinamentos, e por transmitir paz com sua presença.

A todos, que de certa forma, contribuíram e me ajudaram durante a minha formação. Principalmente a todos os professores que passaram seus conhecimentos, e estiveram dispostos a tirar dúvidas e dar o melhor de si.

SILVA, L. T. M. S. **Reciclagem de resíduos industriais minerais para uso na indústria da construção civil**. 2017. 56fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2017

RESUMO

A destinação final dos resíduos provenientes das indústrias mineradoras é um desafio que pode contribuir para a diminuição dos impactos negativos gerados por essas indústrias. A inserção desses resíduos em novos ciclos de produção apresenta uma alternativa de destinação adequada aos resíduos. A indústria do beneficiamento de rochas ornamentais e do caulim geram uma grande quantidade de despejos, que são estudados em diversos setores. O objetivo deste trabalho é reciclar os resíduos da indústria do beneficiamento do Caulim e da produção de rochas ornamentais avaliando sua potencialidade incorporando-o na indústria da construção civil, mediante o comportamento mecânico, por meio de um planejamento estatístico do tipo delineamento de mistura em rede simplex $\{3,2\}$ com ponto central para as formulações. Na metodologia foi realizado o beneficiamento dos resíduos, onde foram secos em estufa, destorroados e peneirado; a caracterização dos materiais, quanto aos aspectos físicos, químicos e mineralógicos; confecção dos corpos de prova, de acordo com a NBR 7211; e o planejamento experimental, utilizando-se como ferramenta o software Statistica. Os resultados do comportamento mecânico e absorção mostraram-se satisfatórios e, a partir das equações de regressão linear e da superfície de resposta geradas é possível encontrar valores desejáveis, de resistência mecânica e de proporções de materiais, respectivamente. Esses valores encontrados, ficaram dentro do limite permitido para uso em argamassa, de 2MPa a 8MPa de resistência à compressão, podendo assim ter diversas utilidades, como uma argamassa de revestimento externo, revestimento interno e de teto, em blocos cerâmicos de vedação. Os resultados do ensaio de absorção encontraram-se no limite entre 8% e 22%, sendo considerado valores satisfatórios. Dessa maneira, é visto a necessidade de estudos referentes ao aproveitamento de resíduos em novos processos de produção, por apresentar propriedades que são aceitas e por representar menor impacto negativo para o meio ambiente.

Palavras-chave: Resíduo de granito. Resíduo de caulim. Planejamento experimental. Argamassa.

SILVA, L. T. M. S. **Recycling of industrial waste minerals for use in the construction industry.**2017. 56pgs. Work of Course Conclusion (Graduation in Environmental Engineering) - Federal University of *Campina Grande, Pombal-PB*. 2017.

ABSTRACT

The final disposal of waste from mining industries is a challenge that can contribute to reducing the negative impacts generated by these industries. The insertion of these residues into new production cycles presents an alternative of adequate waste disposal. The ornamental rock processing industry and kaolin generate a large amount of waste, which is studied in several sectors. The objective of this work is recycling the residues of the processing industry of Kaolin and the production of ornamental rocks and it evaluating their potential in the incorporation in the construction industry, through the mechanical behavior, from a statistical planning of the simplex network mixing type design {3,2} with center point for the formulations. In the methodology was carried out the processing of the residues, which were dried in an oven, tornand sieved; the characterization of the materials, regarding the physical, chemical and mineralogical aspects; preparation of test specimens, according to NBR 7211; and the experimental planning, using as a tool the Statistica software. The results of the mechanical behavior and absorption were satisfactory and that, from the linear regression equation sand the response surface generated it is possible to find desirable values of mechanical strength and proportions of materials, respectively. These values were within the allowed limits for use in mortar, from 2MPa to 8MPa of compressive strength, and could thus have several utilities, such as an external coating mortar, inner and ceiling coating, in ceramic blocks offence with holes in the horizontally and vertically. The results of the absorption test were between 8% and 22%, being considered satisfactory values. Thus, it is necessary to study the use of residues in new production processes, because they have properties that are accepted and because they represent less negative impact on the environment.

Keywords: Granite waste. Kaolin waste. Experimental planning. Mortar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas.....	16
Figura 2 – Resíduo de Granito e Resíduo de Caulim depois do beneficiamento.....	17
Figura 3 – Confecção dos corpos de prova.....	18
Figura 4 – Corpos de prova submetidos à cura.	18
Figura 5 – Região da superfície de trabalho.....	19
Figura 6 – Difração de raio X do Resíduo de Granito (a) e Resíduo de Caulim (b).	23
Figura 7 – Gráfico da granulometria da areia.....	23
Figura 8 – Valores previstos e curva de probabilidade normal para os resíduos de encolhimento retração linear-Modelagem (Comportamento Mecânico).....	26
Figura 9 – Valores previstos e curva de probabilidade normal para os resíduos de encolhimento retração linear-Modelagem (Comportamento Absorção).	27
Figura 10 – Gráfico de Pareto: Comportamento reativo aos materiais e suas interações na resistência Mecânica à compressão.	28
Figura 11 – Gráfico de Pareto: Comportamento reativo aos materiais e suas interações na absorção de água.....	29
Figura 12 – Superfície de Resposta das equações de delineamento para as condições de Cura de 7 dias (a) Comportamento Mecânico (b) Absorção.....	31
Figura 13 – Superfície de Resposta das equações de delineamento para as condições de Cura de 28 dias (a) Comportamento Mecânico (b) Absorção.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composições obtidas através do planejamento em rede simplex {3,2} com ponto central para as formulações.	19
Tabela 2: Composição química das matérias primas.....	21
Tabela 3: Análises granulométricas das matérias primas utilizadas.....	22
Tabela 4: Distribuição Granulométrica do tamanho de partículas das matérias primas.	22
Tabela 5: Análise da Variância para os modelos de regressão para o comportamento mecânico.....	24
Tabela 6: Análise da Variância para os modelos de regressão para a absorção.....	24
Tabela 7: Modelos matemáticos correlacionados o comportamento mecânico com as composições.....	25
Tabela 8: Resultados da Validação do Modelo Estatístico.....	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Geral	3
2.2 Específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Indústria Mineral	3
3.1.1 Indústria do Caulim	3
3.1.2 Indústria de Rochas Ornamentais	6
3.2 Indústria da Construção Civil	9
3.2.1 Exploração de matéria prima	10
3.2.2 Energia	10
3.2.3 Resíduos	11
3.3 Reciclagem	12
3.4 Argamassa	13
3.5 Bloco de vedação	14
3.6 Planejamento experimental	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1 Materiais	16
4.2 Etapas metodológicas	16
4.2.1 Beneficiamento dos resíduos	17
4.2.2 Caracterização dos materiais	17
4.2.3 Confecção dos corpos de prova	17
4.2.4 Planejamento Experimental	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 Caracterização dos materiais	21
5.2 Planejamento Experimental	24
6 CONCLUSÕES	35
7 TRABALHOS PUBLICADOS	36
8 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

A problemática ambiental tem despertado grande interesse no Brasil, visto que as leis se tornaram mais severas e as fiscalizações mais intensas. Entretanto, quanto à correta disposição final de resíduos, as indústrias geralmente não estão se adequando às leis. Acarretando danos ao meio ambiente e as possibilidades de reaproveitamento dos resíduos através de tecnologias (ROCHA & SOUSA, 2010).

A eliminação de resíduos industriais provenientes das empresas mineradoras é um dos grandes desafios do século XXI, sendo uma das alternativas, o aproveitamento de resíduos em diversos setores das indústrias. A adoção de alternativas que contribuam à preservação do meio ambiente, como a redução do consumo de matérias primas e energia, com menores emissões de poluentes, redução de custos, melhoria da saúde e segurança da população (FREIRES, 2011).

O caulim possui diversas aplicações industriais, sendo aplicado, a princípio há muitos séculos, na fabricação de artigos cerâmicos e de porcelana. A partir de 1920 começou a ter aplicação na indústria de papel e na indústria de borracha, posteriormente passou a ser utilizados em plásticos, pesticidas, rações, produtos alimentícios e farmacêuticos, fertilizantes entre outros, e atualmente há grande variedade de aplicações industriais (DNPM, 2017). A indústria do beneficiamento do caulim produz resíduos, à base de sílica, mica e caulinita, em grandes quantidades. Esses resíduos são gerados desde a extração, até as etapas separação do quartzo do minério e da etapa do beneficiamento (DOS ANJOS, 2011).

O Brasil possui reservas de rochas ornamentais, em especial o granito, que representa um importante segmento da economia para o país. Entretanto, a indústria de rochas ornamentais, do ponto de vista ambiental, tem se tornado uma preocupação devido à grande quantidade de resíduos que são gerados, em especial nas etapas de corte e polimento das rochas. Sendo esses resíduos, muita das vezes depositados em locais inadequados, geralmente em vazadouros a céu aberto, provocando além da poluição visual, contaminação do ar e até sérios danos à saúde humana e de animais (LIMA, 2010).

A utilização dos resíduos, da indústria do caulim e do beneficiamento do granito, representa uma alternativa para minimização dos impactos ambientais negativos, além de representar o surgimento de novas matérias-primas para diversos setores, como o da construção civil (FREIRES, 2011). A finitude dos recursos naturais não é, ainda, uma barreira

para a exploração e beneficiamento dos recursos, ou seja, o homem tem decisões insustentáveis, no que diz respeito à sua relação com o meio ambiente. O setor da construção civil tem grande participação nessa relação, devido a extração de matéria-prima, os insumos aplicados e a quantidade de resíduos gerados ao final do processo (VALPORTO & AZEVEDO, 2016).

A indústria da construção civil, mesmo sendo responsável por essa grande participação na geração de impactos ambientais, também é um setor que dispõe de diversos setores que tem papel relevante como receptores de resíduos sólidos. A incorporação desses resíduos em matrizes cerâmicas e cimentícias permite dar um destino ambientalmente adequado aos resíduos que seriam prováveis fontes de poluição (LUCAS & BENATTI, 2008).

As argamassas, tanto no estado fresco como no estado endurecido apresentam diversas propriedades importantes. Dependendo da função que a argamassa irá desempenhar, alguns estudos são necessários, como as características dos materiais constituintes, a proporção entre eles e o processo de mistura empregado (DIAS, 2013).

A reciclagem e a incorporação de resíduos industriais em novos processos de produção, são alternativas que estão sendo estudadas no Brasil e no Exterior. A importância disso, se dá pelo fato da minimização dos problemas ambientais e dos impactos ambientais ao meio ambiente, como o comprometimento estético da paisagem, ocupação de espaço, custo do recolhimento-processamento e degradação dos recursos naturais. A minimização desses problemas é importante visto que o resíduo ganha um novo custo econômico e a possibilidade da diversificação de novos produtos no mercado, contribuindo para que o resíduo não seja descartado em locais inadequados (MEDEIROS, et al. 2010).

O delineamento de misturas é uma metodologia para o estudo e otimização de experimentos, avaliando o comportamento dos componentes de misturas, conhecendo-se a ação de cada matéria-prima. Dessa maneira é possível realizar estudos destinados ao entendimento de mecanismos dentro de um determinado processo, através do comportamento de diferentes formulações, que podem ser otimizadas para se escolher o melhor desempenho associado ao baixo custo, proporcionando a utilização racional das matérias-primas (SILVA et al., 2009).

Dessa maneira, é visto a importância em se trabalhar o aproveitamento de resíduos minerais com a inserção em novos ciclos de produção. Sendo a construção civil um setor para

absorver esses resíduos, nesse trabalho pretende-se estudar os resíduos provenientes do setor de beneficiamento de rochas ornamentais, o resíduo de granito (RG), e da indústria de caulim, o resíduo de caulim (RC), para serem reciclados e avaliados quanto ao seu uso em argamassa de revestimento, de assentamento e em blocos.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Reciclar os resíduos da indústria do beneficiamento do Caulim e da produção de rochas ornamentais e avaliar a potencialidade na incorporação na indústria da construção civil, mediante o comportamento mecânico, avaliados a partir de um planejamento estatístico do tipo delineamento de mistura em rede simplex {3,2} com ponto central para as formulações.

2.2 Específicos

- 1) Caracterizar os materiais;
- 2) Beneficiar os resíduos;
- 3) Desenvolver argamassas em diferentes proporções de substituição do cimento por resíduos minerais;
- 4) Avaliar as propriedades do produto final frente às exigências normativas.
- 5) Comparar os resultados encontrados com os já existentes na literatura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Indústria Mineral

3.1.1 Indústria do Caulim

O Brasil apresenta extensão continental e diversidade geológica que favorecem à existência de jazidas diversificadas de minerais, conquistando posição de destaque no cenário global em reservas e produção mineral. No ano de 2014 atingiu US\$ 40 bilhões, o que representou cerca de 5% do PIB Industrial do país (IBRAM, 2015a). O Brasil ocupa a quinta posição de importância, a nível mundial, de produção mineral de caulim, de acordo com dados de 2016 (IBRAM, 2017). Em várias regiões do estado da Paraíba, a indústria da

mineração e beneficiamento de caulim é um importante segmento econômico, produzindo milhares de toneladas por ano (MENEZES et al, 2007).

O termo caulim teve origem na localidade “Kau-Ling”, que significa colina alta, na China. No século XVIII, missionários e exploradores fazem referência a uma argila branca sendo obtida nessa localidade e utilizada pelos chineses para fazer porcelana. O caulim é um mineral industrial de características especiais, porque é quimicamente inerte em uma ampla faixa de pH, possui granulometria muito fina das partículas, tem cor branca, é macio e pouco abrasivo, possui pouca condutividade de calor e eletricidade e seu custo é inferior a maioria dos materiais concorrentes, sendo uma das argilas industriais mais utilizadas mundialmente, pelo fato de possuir essas propriedades naturais (WATSON,1982; REZENDE et al., 2008; DNPM, 2017).

O caulim é uma rocha formada por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinita e haloisita. Contém outras substâncias sob forma de impurezas como areia, quartzo, palhetas de mica, grãos de feldspato, óxidos de ferro e titânio, etc. Embora o mineral caulinita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) seja o principal constituinte do caulim, outros elementos além do alumínio, silício, hidrogênio e oxigênio acham-se geralmente presentes sob forma mais complicada por vezes desconhecida (DNPM, 2017).

O caulim em seu estado natural pode apresentar impurezas em sua composição, que não atende às especificações do mercado, necessitando assim do beneficiamento para ser utilizado industrialmente. No beneficiamento essas impurezas são retiradas, e quando necessário, são inseridas substâncias que tornam o caulim adequado para o uso a que se destina (REZENDE, 2013).

O Departamento Nacional de Produção Mineral descreve o processo do beneficiamento do caulim da seguinte forma:

O processo de obtenção do caulim tem seu início com a remoção da camada estéril e a extração do minério bruto. Após a eliminação de areia, o material é disperso em água e transportado até o beneficiamento, onde ocorre centrifugação, remoção de ferro por separação magnética e branqueamento químico, para posteriormente o material resultante ser filtrado e secado gerando os produtos finais para embarque (DNPM, 2017).

Segundo Nóbrega, (2007), na Paraíba é utilizado o processo por via úmida, onde o caulim bruto é desintegrado em batedor em que é adicionada água para a lavagem dos minerais acessórios de modo a retirar a fração de caulim agregada a eles. Ainda, o material passa por tanques para a separação do caulim da areia e para tanques de sedimentação onde os

flocos são precipitados. O caulim precipitado é bombeado para os filtros-prensa, nos quais é retirada a água em excesso, resultando na torta de caulim. A torta é seca ao ar ou em fornos-de-teto-quente no período chuvoso. Por fim as tortas de caulim são quebradas em vários pedaços, esses passam por um processo de moagem, para em seguida serem ensacados e comercializados.

As empresas do processo de beneficiamento de caulim geram grande impacto ambiental negativo, gerando grandes quantidades de resíduos para a transformação do caulim bruto no produto a ser comercializado. São gerados três tipos de resíduos, um gerado na primeira etapa do beneficiamento do caulim, o resíduo “grosso” (com partículas maiores que 200µm), constituído basicamente por quartzo, esse resíduo representa 70% de todo o resíduo gerado. Outro constituído principalmente de caulim com granulometria grosseira e o terceiro resíduo “fino” formado por caulim com alto teor de ferro proveniente da etapa de purificação do caulim através de processos de separação a úmido do caulim da ganga do minério. Esses resíduos são geralmente descartados a céu aberto e em leitos e várzeas de riachos e rios, causando danos à fauna, à flora e à saúde da população (ANJOS, 2011; ROCHA JUNIOR et al, 2015).

A Resolução CONAMA 001/86 considera a mineração uma atividade potencialmente poluidora, definindo-a como empreendimento passível de Licenciamento Ambiental. Dependendo da elaboração de estudo de impacto ambiental - EIA e respectivo relatório de impacto ambiental – RIMA. Essa resolução define impacto ambiental como sendo:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA 001/86).

Durante o processo de beneficiamento, ocorre o acúmulo de resíduo sólido que é jogado em lugares inapropriados e que alteram as condições ambientais, causando inúmeros impactos que modificam o meio físico e biótico (DOS ANJOS, 2011). Dos Santos & Lima, (2012) avaliaram a extração do caulim no Distrito Barra, em Juazeirinho – PB, e perceberam que essa atividade causa impactos ambientais de elevada magnitude. Os impactos mais importantes evidenciados foram os fatores físico (pedológico e hidrológico), biológico (vegetação), antrópico (social), estética (paisagem natural), social (saúde).

De acordo com Rocha Junior et al (2015) há três tipos de resíduos gerados na indústria do beneficiamento do caulim. No caso do caulim ferruginoso é aproveitado 15% para uso industrial, sendo o restante disposto na mina após a exploração. Em relação aos outros dois tipos de resíduo, esses são depositados em grandes lagoas de rejeitos, necessitando de grandes áreas desmatadas para sua construção. Mesmo quando as empresas implantam projetos de reflorestamento em parte dessas áreas, não é feita a recuperação completa da área afetada, causando sérios danos ao meio ambiente.

Segundo Furtado & Urias (2013) existe possibilidade de desenvolvimento de novos instrumentos, através do aperfeiçoamento das técnicas de exploração dos minérios e a disposição e o reaproveitamento dos resíduos. Dessa maneira, é imposto um novo investimento a esses resíduos, visto que é dado valor aos resíduos para serem utilizados em novos ciclos.

Barata & Angélica (2012), realizaram a caracterização dos resíduos caulíníficos das indústrias de mineração de caulim da amazônia como matéria-prima para produção de pozolanas de alta reatividade. Sendo os resultados de todas as análises convergentes e apontam os dois resíduos caulíníficos estudados como matérias primas excelentes para a produção desse material.

Miranda (2016), realizou o desenvolvimento de uma estrutura sanduíche de base polimérica, produzida com resíduos das indústrias de mineração e metalurgia, para aplicação como painel divisório de ambientes internos na construção civil. Obtendo resultados que proporcionaram ao compósito a funcionalidade desejada para emprego como painel divisório internos de ambientes

3.1.2 Indústria de Rochas Ornamentais

Em 2016 o cenário brasileiro no setor de rochas ornamentais apresentou uma produção estimada de 9,3 milhões de toneladas de rochas, uma capacidade produtiva de 50 milhões de m²/ano de rochas de processamento simples, com 1.200 variedades comerciais. O Brasil exportou para 120 países em 2016, com maior destaque para EUA, China e Itália (IDEIES, 2016).

Segundo Abreu et al. (1990), rocha ornamental é a denominação empregada para designar rochas que: “[...] após serragem, polimento e lustração, ressaltam características intrínsecas (textura, estrutura, trama dos minerais, etc.) conferindo-lhes grande beleza e permitindo seu uso em revestimentos, pisos e ornamentação”

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais são subdivididas em dois grandes grupos, granitos e mármore. Outros tipos de rochas ornamentais são os quartzitos, serpentinitos, travertinos, calcários (limestones) e ardósias, também muito importantes setorialmente. Dos dois grandes grupos, os mármore englobam as rochas carbonáticas, enquanto que granitos se referem às rochas não-carbonáticas, de composição silicatada, suscetíveis de polimento e empregadas como material de revestimento (GIACONI, 1998; CHIODI FILHO & RODRIGUES, 2009).

A composição mineralógica do granito é a associação variável de quartzo, feldspato, micas (biotita e muscovita), anfibólios (sobretudo hornblenda), piroxênios (aegirina, augita e hiperstênio) e olivina. Podendo alguns desses constituintes não se encontrar presente, assim como outros minerais podem aparecer em quantidades variáveis. Sendo o Quartzo, feldspatos, micas e anfibólios, os minerais dominantes nas rochas graníticas e granitoides (CHIODI FILHO & RODRIGUES, 2009).

O processo do beneficiamento de rochas ornamentais é composto pelas etapas de extração dos blocos de granito, seguido da serragem dos blocos em chapas e finalizando na etapa de corte e polimento. Segundo Rocha & de Sousa (2010), o processo de extração se inicia com um estudo do potencial e qualidade das rochas, através de um levantamento no local. Tornando-se essa etapa importante para que as etapas seguintes sejam realizadas de maneira satisfatória, e para isso, é necessária a participação de profissionais especializados para que essa etapa seja realizada de forma a garantir a qualidade da extração e consequentemente menores impactos durante essa atividade.

A etapa de serragem dos blocos em chapas consiste em um processo realizados em teares, sendo executada através de um quadro com fixação de lâminas de aço paralelas, que desenvolvem movimentos retilíneos, pendulares ou curvoretílico-curvo sobre a rocha. Para ocorrer otimização do corte e resfriamento das lâminas, esse processo é auxiliado por uma polpa de água, cal e granalha, despejada continuamente sobre a rocha (SETEC, 2007).

Ainda, segundo SETEC (2007), o corte e polimento das rochas é o processo em que as chapas recebem o acabamento final. Consistindo em um processo realizado pelo (desbaste), polimento e lustro, sendo o desbaste representado pelo desengrossamento das chapas com a criação de superfícies planas e paralelas. O polimento produz o desbaste fino da chapa e o fechamento dos poros entre os grãos minerais, criando uma superfície lisa, opaca e mais impermeável que a de uma face natural da mesma rocha.

Na industrialização de rochas ornamentais, o beneficiamento do mármore e granito, consiste na etapa subsequente à exploração (lavra), para posterior comercialização. O objetivo desse beneficiamento é o tratamento final da rocha, para que esta esteja com as especificações de dimensões e acabamento superficial que produto final deve apresentar. Sendo, através desse objetivo, que essa etapa é dividida em beneficiamento primário e beneficiamento final (ROCHA & SOUSA, 2010).

Os resíduos gerados na extração das rochas são grossos e provenientes de blocos que estejam fora do padrão, irregulares ou com defeito. Representando cerca de dois terços do material extraído, sendo normalmente descartados no solo das pedreiras. No processo de serragem e polimento, cerca de 25 a 30 % dos blocos são transformados em lama. Sendo essa lama descartada em tanques de deposição final ou filtros, com papel de filtrar a água para que seja reutilizada, deixando a lama como resíduo sem um destino adequado (MARÇAL, 2011; SANTOS, 2016).

As etapas de extração, beneficiamento primário e beneficiamento final geram resíduos que podem chegar de 30 a 40% da matéria prima. Dessa maneira, as empresas do setor, de maneira geral, buscam se adequar às leis ambientais. Entretanto, é grande a quantidade de resíduos dispostos diretamente em lagoas e rios, causando sérios problemas ambientais, mesmo que o granito não seja considerado um resíduo perigoso (ROCHA & SOUSA, 2010).

Diversos são os impactos ambientais causados pela atividade de mineração, a extração é uma delas. Fazendo-se necessário o desmatamento e a remoção do solo para o acesso e a operação da lavra, provocando efeito negativo na fauna e flora, além do impacto visual. Também há o impacto gerado pela produção de uma polpa abrasiva, conhecida como lama. Essa lama é o resíduo proveniente do processo de desdobramento dos blocos em chapas ou ladrilhos, sendo quase em sua totalidade, por parte das empresas, depositados em locais inadequados, em tanques de acúmulo diretamente no solo sem a devida impermeabilização. Ocorrendo eliminação de parte da água contida no resíduo, através de evaporação e infiltração no solo, permanecendo a outra parte como umidade dos resíduos acumulados no solo a céu aberto (CALMON E SILVA, 2006; ROCHA & DE SOUSA, 2010; LIMA et al., 2016)

De acordo com Lima (2010) são gerados dois tipos de resíduos provenientes do beneficiamento do granito: pedaço de pedras desperdiçadas por possuírem características de menor qualidade ou pouco valor comercial, e as lamas que se caracterizam como sendo a massa mineral composta, basicamente, por água, granalha, cal e rocha moída. Uma vez seca a lama granítica forma um pó de granulometria extremamente fina, não biodegradável não

tóxico e inerte. Esses resíduos são não biodegradáveis e classificados de acordo com a norma ABNT NBR 10004/04 como resíduo classe III – inerte e não apresenta toxicidade.

Vários estudos são realizados para fazer a reutilização dos resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais. Menezes et al (2007), analisaram a co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos, obtendo como resultados que é possível a incorporação de grandes quantidades de resíduos, de até 50%, em formulações para produção de tijolos maciços e furados e telhas.

Babisk (2009) estudou e alcançou o objetivo de fazer o desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos através do aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais silicáticas e carbonáticas produzidos no beneficiamento das rochas ornamentais.

Lima (2010) realizou o estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solocimento incorporados com resíduo de granito, através do processo de envelhecimento acelerado. Seus resultados evidenciaram a possibilidade de utilização desse resíduo em solocimento para aplicação em parede monolítica e tijolos para habitação de interesse social.

Marçal (2010) estudou a fabricação de vidros especiais a partir de resíduos de corte e polimento da indústria de rochas ornamentais (granito e mármore). Sendo possível observar em seus resultados que, o resíduo de granito é o mais indicado, por possuir uma quantidade significativa de sílica, óxido formador de rede vítrea por excelência.

Severo et al. (2013), estudaram a ativação alcalina de resíduos minerais com NaOH, objetivando o reaproveitamento de resíduos do beneficiamento do caulim e da serragem do granito minerais para o desenvolvimento de corpos geopoliméricos com aplicações na construção civil. Obtendo como resultado a produção de corpos geopoliméricos, e que o resíduo de caulim calcinado favorece à um melhor comportamento mecânico, com o desenvolvimento de microestruturas mais densas e com menor tamanho de poros.

Lima et al. (2016) estudaram a incorporação de resíduo lama do processo de beneficiamento de granito na argamassa expansiva de demolição, apresentando resultados satisfatórios. Concluindo que é possível a utilização dos resíduos de lama do beneficiamento de granitos como carga em argamassa expansiva.

3.2 Indústria da Construção Civil

A indústria da construção civil apresenta elevada geração de emprego, viabilização de moradias, renda e infraestrutura. Entretanto é um setor responsável por gerar impactos

ambientais significativos, sendo necessário uma política abrangente para a correta destinação final dos resíduos gerados (KARPINSK, 2009).

3.2.1 Exploração de matéria prima

De acordo com o Conselho Internacional da Construção – CIB, a indústria da construção civil é o setor da atividade humana que mais consome recursos naturais e energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Todo processo industrial está caracterizado pelo uso de insumos como, matérias prima, água, energia que, submetidos a uma transformação, dão lugar a produtos, subprodutos e resíduos (SOUZA, 2007; MMA, 2017).

O setor da construção civil é um dos maiores exploradores de matéria-prima natural, cerca de 20% e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade (MESQUITA, 2012). Segundo a IBRAM (2015b), os agregados minerais, areia e a pedra britada, são as substâncias minerais mais consumidas no mundo. E segundo esse instituto o termo “agregados para a construção civil” significa: “Um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada, granular, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades de uso imediato na indústria da construção civil”

3.2.2 Energia

Alguns dos materiais utilizados na construção civil causam sérios danos ao meio ambiente, devido ao processo de fabricação. O cimento Portland, por exemplo, tem custo ambiental tanto pela extração de recursos naturais quanto pela emissão de dióxido de carbono na atmosfera (TORGAL, 2012).

Segundo DEPEC (2017), o processo do cimento é composto por: obtenção da matéria prima, com a extração do calcário; britagem, onde o calcário é reduzido em pedaços de no máximo 25mm; moagem das matérias-primas (calcário, argila e areia) até serem transformadas em pó para serem misturadas; calcinação, onde é obtido o clínquer, material resultante do aquecimento de uma mistura à base de materiais calcários argilosos, necessitando de 1.450°C para que a mistura se torne clínquer, para posteriormente ser resfriado; moagem do clínquer e adição de gesso e outros aditivos, gerando o cimento.

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2017), a produção de cimento no ano de 2016 foi de 57 milhões de toneladas. Dados do DEPEC (2017) revelam que do custo total de produção de cimento, 56% é destinado à energia, sendo 82% de óleo combustível e outros, e 18% de energia elétrica.

A fabricação do cimento Portland engloba adições de outras matérias-primas, que são misturadas ao clínquer e que permite a existência dos diversos tipos desses cimentos. O gesso é uma dessas matérias-primas, que tem como função básica controlar o tempo de pega, ou seja, o início do endurecimento do clínquer moído quando este é misturado com água. Essa adição é necessária, pois apenas com o clínquer, o endurecimento do cimento em contato com a água seria quase que instantaneamente, inviabilizando seu uso nas obras (ABCP, 2002).

Uma das preocupações da produção de gesso é a questão da matriz energética, onde são utilizadas energia elétrica, de óleo diesel, óleo de baixo poder de fusão coque, subproduto derivado do carvão mineral, e lenha. As indústrias de pequeno porte usam, exclusivamente, a lenha como fonte energética (MMA, 2016).

O uso de outros materiais em substituição parcial ao cimento Portland representa uma alternativa benéfica ao meio ambiente e aos custos da produção de materiais. Alguns resíduos, entre eles os minerais, são considerados poluidores, entretanto, se inseridos em novos ciclos de produção podem consumir menos energia do que o clínquer do cimento Portland, que requer aproximadamente 1450°C. O uso desses resíduos em novo ciclos agrega valor a esse material que seria disposto em aterros sanitários ou locais inadequados, causando grandes impactos ambientais (REZENDE, 2013).

3.2.3 Resíduos

Além dos impactos relacionados ao consumo de matéria e energia, também têm aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. De todos os resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas, a construção civil representa 50% desses resíduos (MMA, 2017).

A geração de resíduos da construção civil tem origem das mais diversas formas, sendo provenientes de processos que apresentam deficiência, como falhas na elaboração de projetos e sua execução, provenientes de materiais de baixa qualidade, de perdas armazenamento e transporte, manipulação incorreta dos materiais pela mão-de-obra e substituição de materiais em reformas e reconstruções (SCHWENGBER, 2015).

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, na resolução 307/2002, resíduos da construção civil é definido como:

Os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento

asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

A indústria da construção civil é responsável por uma grande quantidade de resíduos produzidos nas áreas urbanas, representados pelos volumes de materiais de construção e de atividades nos canteiros de obra. Nas obras de construção e reformas, o resíduo correspondente a sobras de materiais é a principal consequência da falta de reutilização e reciclagem desses resíduos. Já nas obras de demolição propriamente ditas, o resíduo gerado é o produto final do processo, por isso não depende dos processos empregados para gerar a demolição ou da qualidade do setor (KARPINSK, 2009).

A resolução n. 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, enquadrando os resíduos da construção civil nas seguintes categorias:

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Devido à grande quantidade de resíduos gerados pela construção e demolição, percebe-se que há uma necessidade de implantação de projetos para a redução de impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil (DA SILVA et al., 2014).

3.3 Reciclagem

De acordo com a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a reciclagem pode ser definida como:

“Processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa”

Reutilização, para a Lei nº 12.305, é definida como sendo “o processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química”

A Lei nº 12.305 ainda destaca a diferença entre resíduo e rejeito, sendo rejeito os resíduos sólidos que tem como única possibilidade a disposição final ambientalmente adequada, pois todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis foram esgotadas. Já resíduos sólidos são definidos como sendo:

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 estados sólido ou semissólido, 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 técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

3.4 Argamassa

Segundo a NBR7200/98, argamassa é uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes e água, podendo ou não possuir aditivos ou adições, com propriedade de aderência e endurecimento. Segundo Petrucci (1976), argamassa é um material de construção, que se preparadas com excesso de água formam as chamadas natas, as argamassas possuem propriedades de aderência e endurecimento. São utilizadas na construção para o assentamento de pedras, tijolos e blocos nas alvenarias, ou em acabamentos e reparos de obras.

As argamassas convencionalmente utilizadas em obras são compostas de areia natural lavada, como agregado miúdo, e em geral de cimento Portland e a cal hidratada, como aglomerantes. Podendo assim, a argamassa ser de cal, de cimento ou mista de cal e cimento (FERREIRA, 2014).

Segundo da Nóbrega (2007), as argamassas são classificadas de acordo com sua finalidade, podendo ser para assentamento, quando utilizadas para unir blocos ou tijolos das alvenarias, colocação de azulejos, tacos, ladrilhos e cerâmica para revestimento. E para revestimento: usadas para revestir tetos, paredes etc., protegendo da umidade.

As argamassas de revestimento são utilizadas para revestir paredes, muros e tetos, geralmente recebendo acabamentos de pintura e revestimentos cerâmicos. Algumas das funções de argamassas de revestimento de parede é de proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação de intemperismo; integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo em diversas funções, entre elas isolamento térmico, isolamento acústico estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais; regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos (CARASEK, 2010).

Argamassa de assentamento, de acordo com a NBR13281:2005 é a argamassa indicada para ligação de componentes de vedação, como blocos e tijolos.

Vários trabalhos são desenvolvidos com o intuito de fazer a utilização de resíduos na produção de argamassa. Lima et al. (2009), realizou o estudo de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. Chegando à conclusão que cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo é viável em argamassas, desde que haja o estudo da durabilidade dos materiais.

Rodrigues & Beraldo (2010) estudaram a caracterização física e mecânica de argamassas à base de cimento Portland e cinza de casca de arroz residual com o intuito de diminuir o consumo de cimento nas matrizes cimentícias e aproveitar um resíduo que se encontra disponível na natureza, e que não tem uma destinação adequada na maioria das vezes. A caracterização mecânica das argamassas mostrou que tanto para os corpos de prova que ficaram expostos em ambiente interno, quanto àqueles que ficaram em ambiente externo, à medida que se aumentou o tempo de exposição, houve também um aumento na resistência à compressão.

3.5 Bloco de vedação

Blocos de vedação são aqueles destinados à execução de paredes que suportarão o peso próprio e pequenas cargas de ocupação, como armários, pias, lavatórios, e geralmente são utilizados com os furos na posição horizontal (INMETRO. 2017). Para a NBR 15270/2005, blocos podem ser definidos como:

Componentes de alvenaria que possuem furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que o contém. Os blocos cerâmicos para vedação constituem as alvenarias externas ou internas que não têm a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte.

A NBR 7173/1982 determina que a resistência à compressão mínima para os blocos de vedação é 4,5 MPa. A NBR 6136/1994, estabelece diferentes condições quanto ao uso dos

blocos de vedação, sendo a primeira classe destinada para uso geral, como paredes externas acima ou abaixo do nível do solo, que podem estar expostas à humidade ou intempéries, e que não recebem revestimento de argamassa de cimento. A outra classe é limitada ao uso acima do solo, em paredes externas com revestimento de argamassa de cimento, para proteção contra intempéries e paredes não expostas a intempéries.

3.6 Planejamento experimental

Planejamento experimental ou delineamento experimental é um conjunto de ensaios estabelecidos com critérios científicos e estatísticos, que tem por objetivo determinar a influência de variáveis em um determinado sistema ou processo. O planejamento experimental é importante para o desenvolvimento de novos processos, no aprimoramento de processos existentes, além de reduzir a variabilidade de resultados e reduzir o tempo e custos envolvidos (BUTTON, 2016).

Ainda, segundo Button (2016), a utilização das técnicas estatísticas de planejamento experimental traz benefícios como:

Redução do número de ensaios sem prejuízo da qualidade da informação; estudo simultâneo de diversas variáveis, separando seus efeitos; determinação da confiabilidade dos resultados; realização da pesquisa em etapas, num processo iterativo de acréscimo de novos ensaios; seleção das variáveis que influem num processo com número reduzido de ensaios; representação do processo estudado através de expressões matemáticas; elaboração de conclusões a partir de resultados qualitativos.

O delineamento de mistura é um tipo de planejamento experimental, que é composto pela mistura de diferentes componentes, e quando são alteradas as proporções desses componentes, a resposta ou propriedade também são alteradas (BARROS NETO et al, 1996). Segundo Coelho (2014), as misturas são o conjunto de dois ou mais componentes que tem função relacionada à proporção de cada componente e são utilizadas para verificar a alteração de diferentes composições dentro de um determinado produto. As proporções das componentes são variáveis, obtendo como resultado, respostas para cada conjunto. Com a resposta de cada conjunto é possível, através de superfícies de resposta, a estimativa das propriedades de um sistema multicomponente.

O delineamento em rede simplex é um tipo de delineamento experimental, que consiste em um conjunto de pontos uniformemente espalhados no sistema de coordenadas simplex para o espaço amostral, selecionados de acordo com o polinômio que se deseja

ajustar. (CABRAL, 2013). O planejamento em rede simplex fornece uma distribuição uniformemente espaçada dos pontos sobre o espaço de fatores e é designado por “rede $\{q, m\}$ ”, em que q representa a quantidade de componentes e m é a quantidade de espaçamentos iguais entre os pontos na rede (VIEGAS, 2016)

A partir dos resultados obtidos no delineamento de misturas é possível utilizar polinômios simplificados, que relacionam a propriedade de interesse às diversas proporções utilizadas, dessa maneira é possível desenvolver produtos com propriedades específicas (SILVA et al.,2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

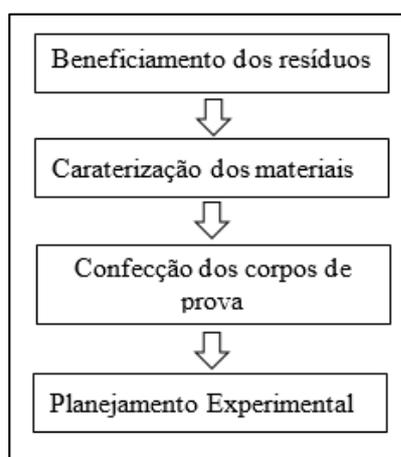
4.1 Materiais

Os materiais utilizados foram, resíduo do beneficiamento do Caulim (RC), proveniente da CAULISA situado no município de Juazeirinho-PB, resíduo da serragem do Granito (RG) proveniente da indústria GRANFUGI/AS situada no distrito industrial de Campina Grande-PB; cimento Portland e areia obtido no comércio local do município de Pombal-PB; e água proveniente do abastecimento local do município de Pombal.

4.2 Etapas metodológicas

A metodologia do trabalho foi dividida em etapas que podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: Autoria própria, 2017.

4.2.1 Beneficiamento dos resíduos

Na etapa de beneficiamentos dos resíduos, o RG e RC foram secos em estufa, destorroados e peneirados na peneira nº 200 (0,0074mm).

Depois de secos em estufa, destorroados e peneirados, os resíduos estão aptos para serem utilizados na pesquisa, como observado na Figura 2. Sendo representado na Figura 2a o RG, e na Figura 2b o RC.

Figura 2 – Resíduo de Granito e Resíduo de Caulim depois do beneficiamento.



Fonte: Autoria Própria, 2017.

4.2.2 Caracterização dos materiais

Os resíduos foram caracterizados quanto aos aspectos físicos, químicos e mineralógicos. A caracterização física foi realizada através dos ensaios de módulo de finura (NBR 11579, ABNT, 1991) e análise granulométrica objetivando um controle da granulometria e a otimização do empacotamento dos corpos-de-prova a serem produzidos, utilizando-se as peneiras ABNT nº 40 (0,42mm), 80 (0,18mm) e 200 (0,0074mm), também foi realizada a granulometria por difração a laser.

Na caracterização química foi utilizada a técnica de espectrometria por fluorescência de raios-X (FRX). E a caracterização mineralógica foi realizada através do método do pó no Difratorômetro SHIMADZU XRD-6000 com radiação $\text{CuK}\alpha$.

A areia utilizada como um dos materiais na confecção dos corpos de prova foi caracterizada realizando sua granulometria de acordo com a NBR 7217/87 NM 248:2003.

4.2.3 Confecção dos corpos de prova

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de argamassa de acordo com a NBR 7215/96, sendo a cura dos corpos de prova através da imersão em água, de acordo com NBR 9778/87, com idade de 7 e 28 dias. Após a confecção dos corpos de prova, esses foram

submetidos aos ensaios de resistência mecânica e absorção, ambos realizados em idades de 7 e 28 dias.

A confecção dos corpos de prova pode ser vista na Figura 3, onde o material foi pesado e misturado para o enchimento nos moldes.

Figura 3 – Confecção dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria, 2017.

O traço utilizado para moldagem dos corpos de prova foi de 1:6 (Ligante: Areia), utilizando-se a relação água/material seco 0,14, sendo obtidos através de pesquisas bibliográficas e testes práticos. Os corpos de prova referentes às formulações em questão foram moldados, identificados e colocados em cura de 7 e 28 dias, como observado na Figura 4. Para cada formulação foram moldados 16 (dezesesseis) corpos de prova, sendo 8 (oito) destinados ao ensaio de resistência à compressão, para realização do ensaio aos 7(sete) e 28 (vinte e oito) dias, e os outros oito foram submetidos ao ensaio de absorção, também nas referidas idades.

Figura 4 – Corpos de prova submetidos à cura.

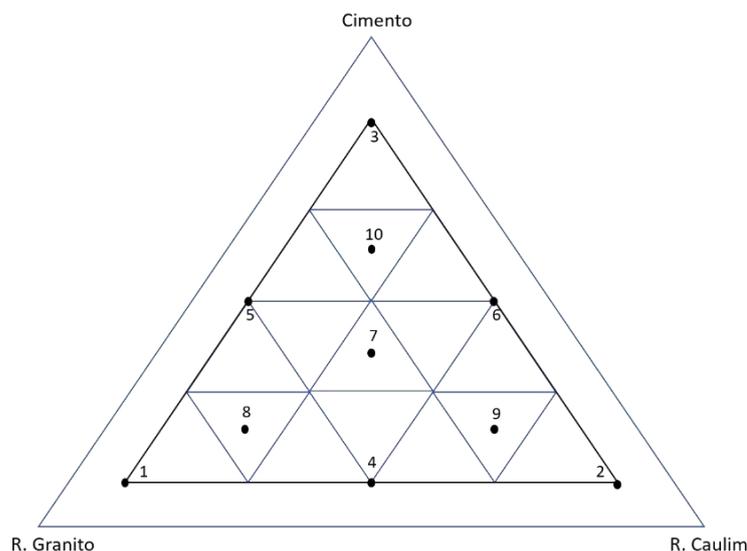


Fonte: Autoria própria, 2017.

4.2.4 Planejamento Experimental

A análise do comportamento mecânico dos corpos de prova foi realizada a partir de composições, que compreende a região central de superfície de modelagem como pode ser observado na Figura 5 e as composições podem ser observadas na Tabela 1.

Figura 5 – Região da superfície de trabalho.



Fonte: Autoria própria, 2017.

A análise do comportamento mecânico foi realizada utilizando um planejamento experimental do tipo delineamento de misturas em rede simplex centrado, aumentando com pontos interiores (10 repetições), totalizando dez pontos e a resistência de pseudo-componentes, utilizadas na análise. Para a geração dos gráficos estatísticos e superfícies de respostas dos modelos matemáticos, foi utilizado o software Statística. Os gráficos do delineamento de mistura foram confeccionados para a absorção com o intuito de relacionar essa propriedade com o comportamento mecânico, não interessando, desta forma, para o trabalho as equações de regressão linear geradas para a resposta absorção.

Tabela 1 – Composições obtidas através do planejamento em rede simplex {3,2} com ponto central para as formulações.

Formulações	Proporção (%)		
	Cimento	R. Caulim	R. Granito
1	0,160	0,160	0,680
2	0,160	0,680	0,160

(continua)

			(continuação)
3	0,680	0,160	0,160
4	0,167	0,417	0,417
5	0,417	0,167	0,417
6	0,417	0,417	0,167
7	0,250	0,500	0,250
8	0,500	0,250	0,250
9	0,250	0,250	0,500
10	0,333	0,333	0,333

Fonte: Elaborada pela autora, 2017.

Para o ajuste dos valores de resposta, que corresponde aos ensaios de resistência à compressão e absorção, foram utilizados os modelos: linear (Equação 1), quadrático (Equação 2), cúbico especial (Equação 3) e cúbico (Equação 4) em termos dos componentes C (Cimento), RC (Resíduo de Caulim) e RG (Resíduo de Granito).

$$Y_{(C,RC,RC)} = b_1 * C + b_2 * RC + b_3 * RG \quad (1)$$

$$Y_{(C,RC,RC)} = b_1 * C + b_2 * RC + b_3 * RG + b_4 * C * RC + b_5 * C * RG + b_6 * RC * RG \quad (2)$$

$$Y_{(C,RC,RC)} = b_1 * C + b_2 * RC + b_3 * RG + b_4 * C * RC * RG + b_5 * RC * RG + b_6 * RC * RG + b_7 * C * RC * RG \quad (3)$$

$$Y_{(C,RC,RC)} = b_1 * C + b_2 * RC + b_3 * RG + b_4 * C * RC * RG + b_5 * C * RG + b_6 * RC * RG + b_7 * C * RC * (C - RC) + b_8 * C * RG * (C - RC) + b_9 * RC * RG * (RC - C) + b_{10} * C * RC * RG \quad (4)$$

Sendo Y a estimativa da resposta, seja da resistência à compressão, em MPa, seja da absorção, em porcentagem (%); b_x os coeficientes da equação; e C, RC e RG são as proporções das matérias-primas presentes nas formulações, Cimento, Resíduo de Caulim e Resíduo de Granito respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será abordado a caracterização dos materiais, com os resultados das análises física (granulometria dos resíduos), química e mineralógica, do RG e RC, além da granulometria da areia. Posteriormente é elencado os resultados do planejamento experimental, através da resistência à compressão e absorção encontradas, aos 7 e 28 dias, onde foram utilizadas 10 formulações diferentes com 6 repetições para a realização desses ensaios e posteriormente o comportamento dessas misturas frente a resistência à compressão. Depois de realizado os ensaios, para as dez formulações estudadas, é possível estimar outros valores a partir das equações de regressão linear gerados pelo modelo estatístico.

5.1 Caracterização dos materiais

A caracterização dos resíduos foi quanto aos aspectos químicos, físicos e mineralógicos. O resultado da análise química dos resíduos encontra-se na Tabela 2, e a partir da composição química do resíduo de granito verifica-se que é constituído basicamente por SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO que corresponde a cerca de 87%, sendo também os principais constituintes encontrado por Menezes et al. (2007), por se tratar do resíduo proveniente do mesmo local.

Os altos teores de SiO_2 e Al_2O obtidos são típicos de rochas ígneas graníticas, sendo também encontrados por outros autores, como Bildhauer et al. (2015) que comprovaram que o resíduo de granito é constituído predominantemente por sílica e alumina, óxidos que conferem maior refratariedade ao produto final. As presenças de Fe_2O_3 e CaO estão provavelmente relacionadas aos constituintes do próprio resíduo, assim como a adição de granalha e óxido de cálcio como lubrificante e abrasivo no processo de corte/serragem do granito.

A partir da composição química do resíduo de caulim, na Tabela 2, é possível observar que apresenta teor de sílica(SiO_2), de alumínio (Al_2O_3), de ferro (Fe_2O_3) e de potássio (K_2O). Segundo Anjos & Neves (2011), o teor de sílica é proveniente dos minerais argilosos e da sílica livre, e o teor de alumínio é oriundo dos argilominerais e de feldspato.

Tabela 2 – Composição química das matérias primas.

Composto	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	MgO	Fe_2O_3	SO_3	CaO	Na_2O	Tio_2	P_2O_5	Outros	
teor	RG	49.4	18.5	3.4	4.11	12.5	0.37	6.3	2.60	1.96	0.57	0.28
(%)	RC	52.5	45.0	0,8	1,10	0.4	-	-	-	-	-	0.20

Fonte: Elaborada pela autora.

A caracterização física dos resíduos foi representada pela análise granulométrica, e o resultado é encontrado na Tabela 3. Através dessa análise percebe-se o RC e RG acusaram um diâmetro médio de 18,84 μm e 11,82 μm respectivamente.

Tabela 3 – Análises granulométricas das matérias primas utilizadas.

Matérias Primas	Diâmetro médio (μm)	Diâmetro a 10% (μm)	Diâmetro a 50% (μm)	Diâmetro a 90% (μm)
RC	18,84	1,18	10,27	48,21
RG	11,82	1,07	7,93	28,66

Fonte: Elaborada pela autora.

A Tabela 4 apresenta os valores dos tamanhos de partículas por difração à laser, onde percebe-se, para o RG que 61,95% das partículas possui partículas com tamanho entre 2 μm e 20 μm . E para o RC a maioria das partículas também se apresentaram entre 2 μm e 20 μm , com 43,96%, e 38,18% com partículas maiores que $x > 2\mu\text{m}$.

Tabela 4 – Distribuição Granulométrica do tamanho de partículas das matérias primas.

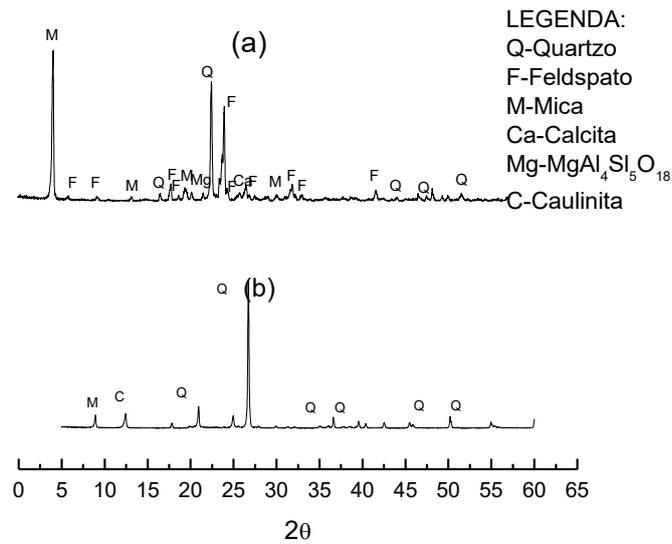
Matérias Primas	Argila(%) ($x < 2\mu\text{m}$)	Silte(%) ($2\mu\text{m} < x < 20\mu\text{m}$)	Areia(%) ($x > 2\mu\text{m}$)
RG	19,20	61,95	18,85
RC	17,86	43,96	38,18

x=fração acumulada. Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 6 apresenta os padrões de difração de raio X dos resíduos. A partir da Figura 6a verificou-se a presença das seguintes fases mineralógicas Mica, Feldspato e Quartzo no RG, que são minerais predominantes na rocha granítica. Foi verificada também a presença de Calcita, que segundo Mota et al. (2009) são minerais característicos do granito.

O RC (Figura 6b) é constituído por mica ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ PCDF 46-1409), caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ PCDF 29-1488) e quartzo ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ PCDF 46-1409); esses resultados justificam o alto teor de alumina e sílica observado na análise química (Tabela 2). Segundo Menezes et al(2007), o K_2O presente na composição química dos resíduos é oriundo basicamente de mica, enquanto que o Na_2O observado na composição do resíduo de granito é oriundo de feldspato sódico.

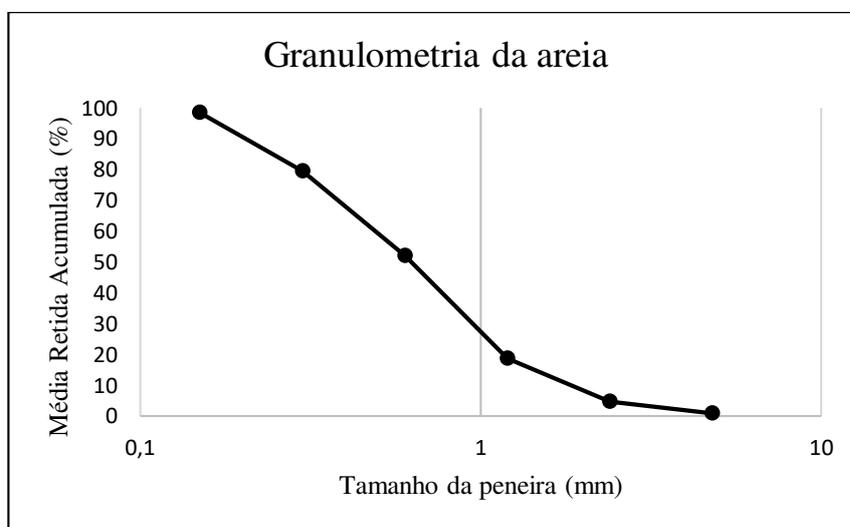
Figura 6 – Difração de raio X do Resíduo de Granito (a) e Resíduo de Caulim (b).



Fonte: Autorial Própria, 2017.

O resultado da granulometria da areia pode ser observado na Figura 7. Onde o módulo de finura dessa areia foi de 2,54, sendo classificada como Areia Média e dentro da zona ótima que varia de 2,20 a 2,90, de acordo com a NBR 7211. Segundo Araújo (1995), quanto maior o módulo de finura do agregado, maior é a fração de grãos graúdos e mais áspera é a textura que pode conferir aos revestimentos de argamassa, sendo areia média indicada para o uso como emboço.

Figura 7 – Gráfico da granulometria da areia.



Fonte: Autorial própria, 2017.

5.2 Planejamento Experimental

As Tabelas 5 e 6 listam as principais propriedades estatísticas das regressões obtidas com a análise de variância para o comportamento mecânico e absorção, respectivamente, aos 7 e 28 dias. Quanto ao comportamento mecânico, todos os modelos são representativos ao nível de confiança de 5%. Enquanto que, para a absorção, apenas o modelo linear não é representativo.

Tabela 5 – Análise da Variância para os modelos de regressão para o comportamento mecânico.

7 Dias		
Modelo	R ² (%)	p
Linear	70	0,000
Quadrático	72,9	0,041
Cúbico	77,8	0,000
Esp. Cúbico	85,9	0,000
28 Dias		
Modelo	R ² (%)	p
Linear	62	0,00
Quadrático	95,7	0,00
Cúbico	99,49	0,00
Esp. Cúbico	96,04	0,01

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 6 – Análise da Variância para os modelos de regressão para a absorção.

(continua)

7 Dias		
Modelo	R ² (%)	p
Linear	8,7	0,017
Quadrático	88,89	0,000
Cúbico	92,8	0,000
Esp. Cúbico	94	0,001
28 Dias		

(continuação)

Modelo	R ² (%)	p
Linear	9,08	0,042
Quadrático	75,22	0,000
Cúbico	90,6	0,000
Esp. Cúbico	81,12	0,000

Fonte: Elaborada pela autora.

Segundo Callegari-Jacques (2003), o coeficiente de determinação (R²) informa que fração da variabilidade de uma característica é explicada estatisticamente pela outra variável. E sabe-se que o modelo que melhor associa os dados experimentais com a modelagem experimental é aquela que mais aproxima o coeficiente de determinação R² à 100%. Então, conclui-se que, para o comportamento mecânico e absorção, os modelos mais representativos aos 7 e 28 dias são cúbico especial e cúbico respectivamente. As porcentagens desses modelos mais representativos podem ser classificadas, de acordo com Lopes (2014) como coeficientes de determinação fortes, por serem maiores que 81%.

A partir desses modelos são geradas as equações de regressão linear que melhor representam o planejamento experimental. Essas equações possibilitam respostas referentes ao comportamento mecânico, a partir das variáveis da composição dos resíduos e do cimento, podendo ser verificada na Tabela 7.

Tabela 7 – Modelos matemáticos correlacionados o comportamento mecânico com as composições.

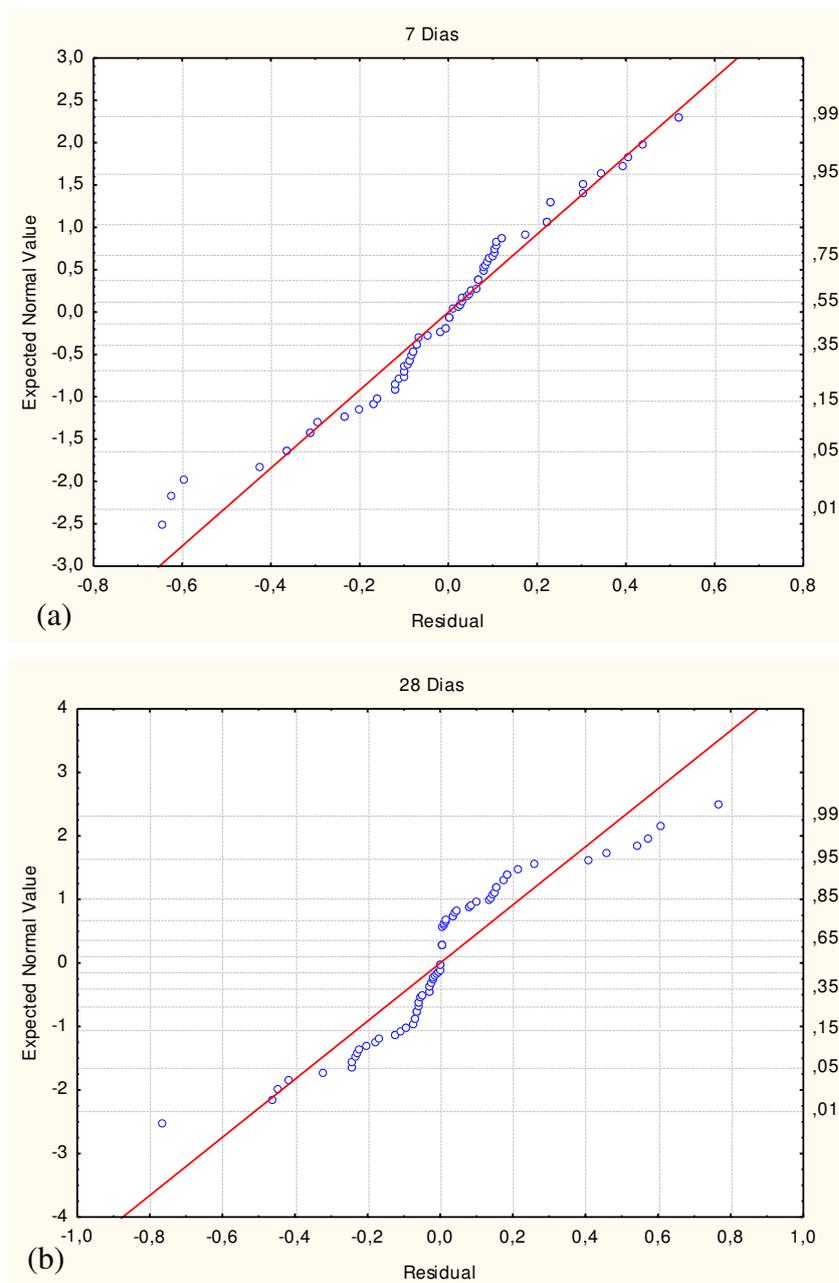
Cura (Matérias Primas)		
7dias	$R = +6,58 * C + 5,17 * RC + 5,21 * RG + 11,47 * C * RC$ $* RG - 4,13 * C * RC * (C - RC) + 8,30 * C$ $* RG * (C - RG)$	(5)
28dias	$R = +8,96 * C - 0,004 * RC - 0,004 * RG + 7,30 * C * RC$ $+ 8,09 * C * RG + 20,50 * RC * RG - 14,01 * C$ $* RC * RG - 11,64 * C * RC * (C - RC) - 14,42$ $* C * RG * (C - RG) + 0,$	(6)

R=Resistência mecânica à compressão simples; C=Cimento; RC-Resíduo de Caulim; RG-Resíduo de Granito.

Fonte: Elaborada pela autora.

Para avaliar a adequação dos modelos de regressão também é necessária uma análise dos resíduos. Nas Figuras 8 e 9 são previstos os valores e curvas de probabilidade normal para as propriedades dos resíduos para modelagem do comportamento mecânico e absorção, respectivamente. Os resíduos são dados pela diferença entre o valor determinado experimentalmente e o calculado estimado. As parcelas de resíduos brutos versus valores dos erros podem ser considerados distribuídos aleatoriamente em torno de uma média zero.

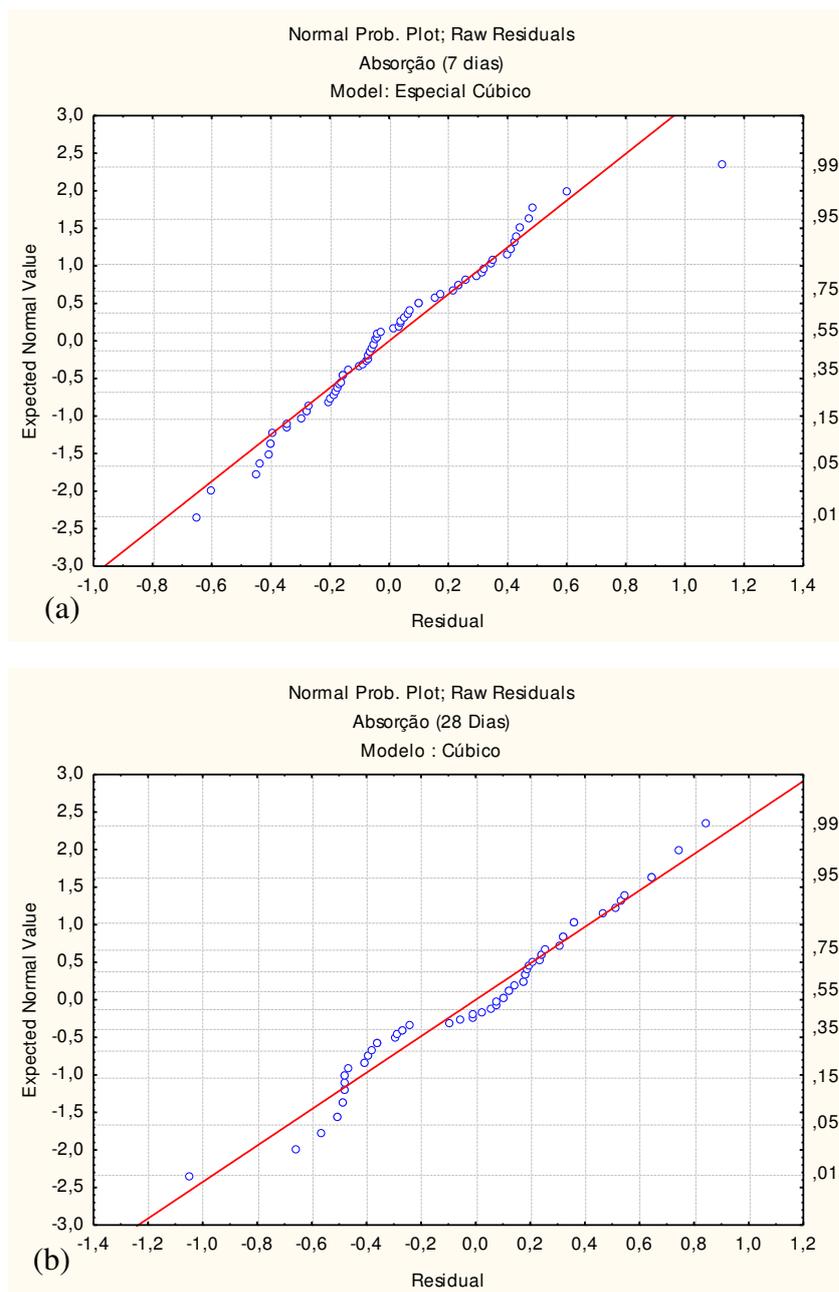
Figura 8 – Valores previstos e curva de probabilidade normal para os resíduos de encolhimento retração linear-Modelagem (Comportamento Mecânico).



Fonte: Autoria própria, 2017.

Tanto o gráfico do comportamento mecânico como da absorção, apresentaram valores dos resíduos em torno de uma média comum, ou seja, indica que os resíduos possuem uma distribuição normal, o que comprova a eficiência da modelagem estatística. Ainda pode-se destacar, que segundo Calado & Montgomery (2003), quanto mais próximos os pontos experimentais estiverem da linha contínua, mais será válida a suposição de normalidade dos resíduos.

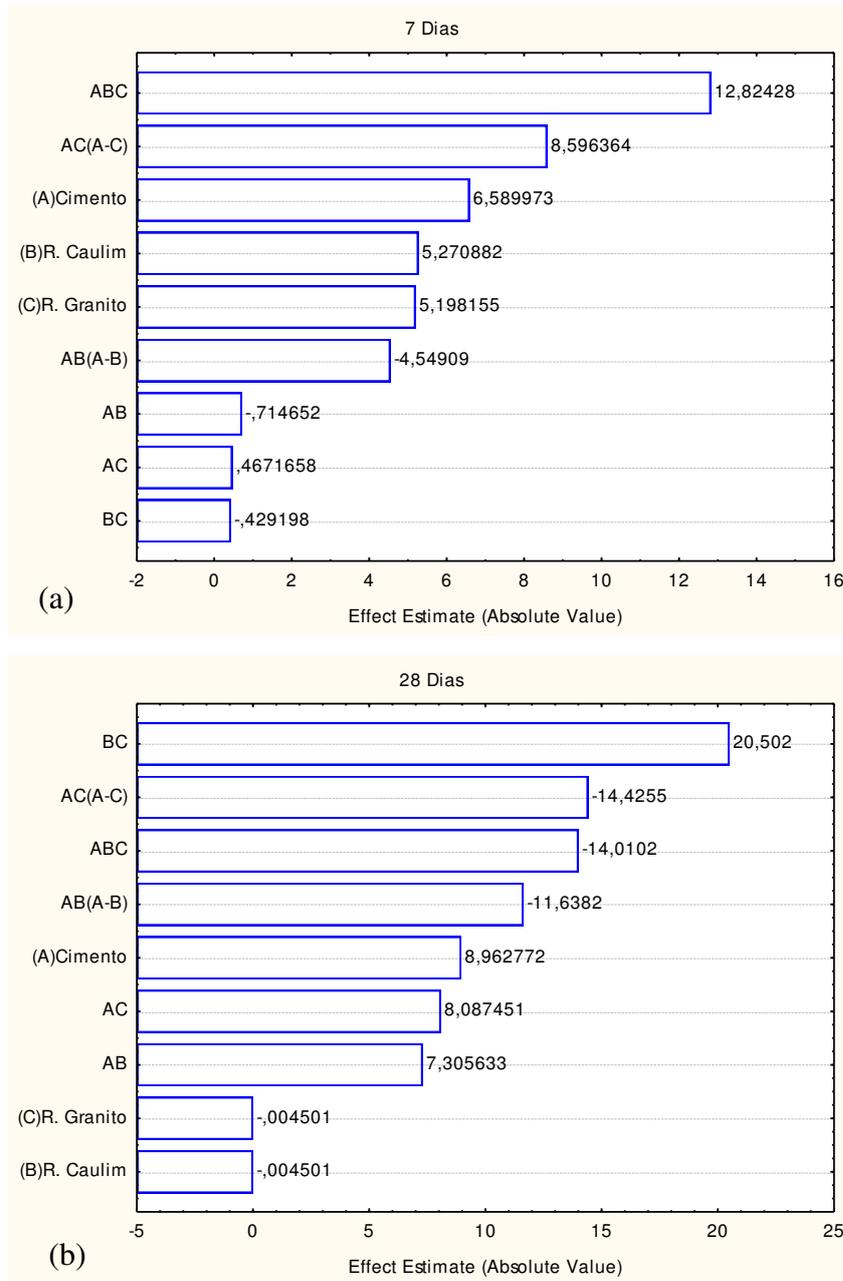
Figura 9 – Valores previstos e curva de probabilidade normal para os resíduos de encolhimento retração linear-Modelagem (Comportamento Absorção).



Fonte: Autoria própria, 2017.

Nas Figuras 10 e 11 observam-se o gráfico de Pareto para os modelos gerados referente ao comportamento mecânico e absorção respectivamente, onde é possível avaliar a interferência de cada componente e suas interações frente à resposta (comportamento mecânico e absorção de água).

Figura 10 – Gráfico de Pareto: Comportamento reativo aos materiais e suas interações na resistência Mecânica à compressão.



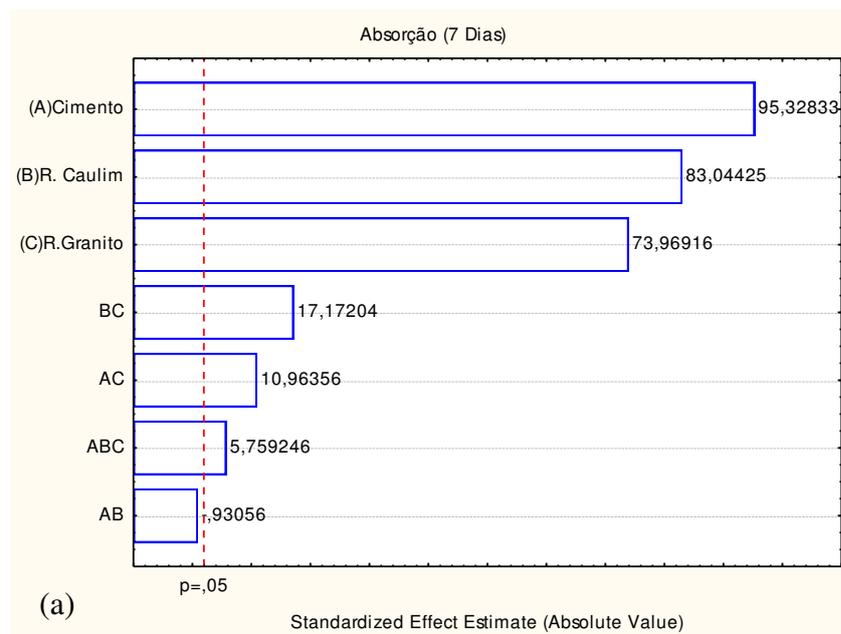
Fonte: Autoria própria, 2017.

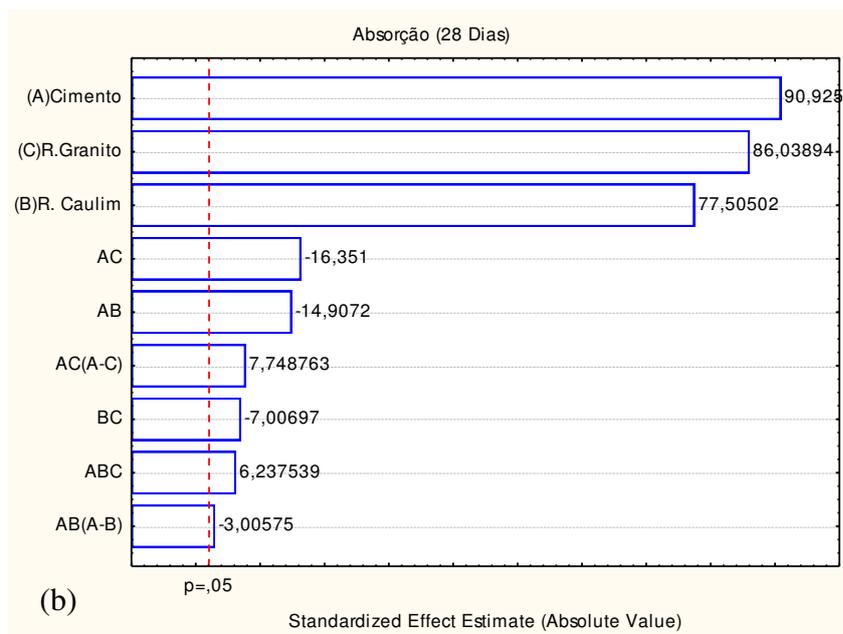
Constata-se que o cimento é o componente que mais interfere de forma direta na resposta do sistema, ou seja, promove a elevação da resistência mecânica, o que já era previsível por se tratar do ligante (componente não inerte) do sistema apresentado.

Analisando os gráficos de Pareto para a absorção de água (Figura 11), observa-se o mesmo comportamento verificado nos gráficos de resistência mecânica. Entretanto, deve ser considerado como resultados favoráveis de absorção valores inversos, por exemplo, o que se deseja é que os produtos favoráveis ao sistema tenham uma absorção inferior, ou seja, aquelas que apresentarem valores de resistência mecânica mais altos seria esperado uma absorção inferior àqueles com menor resistência, o que não pode ser constatado no gráfico de Pareto devido a relação direta com o componente cimento sendo o que mais interfere sinergicamente.

É observado também que todas as variáveis, aos 28 dias (Figura 11b), apresentam uma influência estatisticamente significativa, ao nível de 95% de confiança, quando seu efeito ultrapassa a linha de $p = 0,05$.

Figura 11 – Gráfico de Pareto: Comportamento relativo aos materiais e suas interações na absorção de água.





Fonte: Autoria própria, 2017.

Após a realização dos testes de resistência mecânica, com as dez formulações propostas inicialmente e da geração das equações de regressão, foi possível validar o programa através de testes práticos com novas formulações. Dessa maneira, na Tabela 8 é possível observar as resistências encontradas em diferentes composições e o intervalo de confiança estimado através das equações de regressão. Como os resultados foram dentro do intervalo de confiança pode-se afirmar que os modelos gerados são válidos e confiáveis ao nível de segurança estudado.

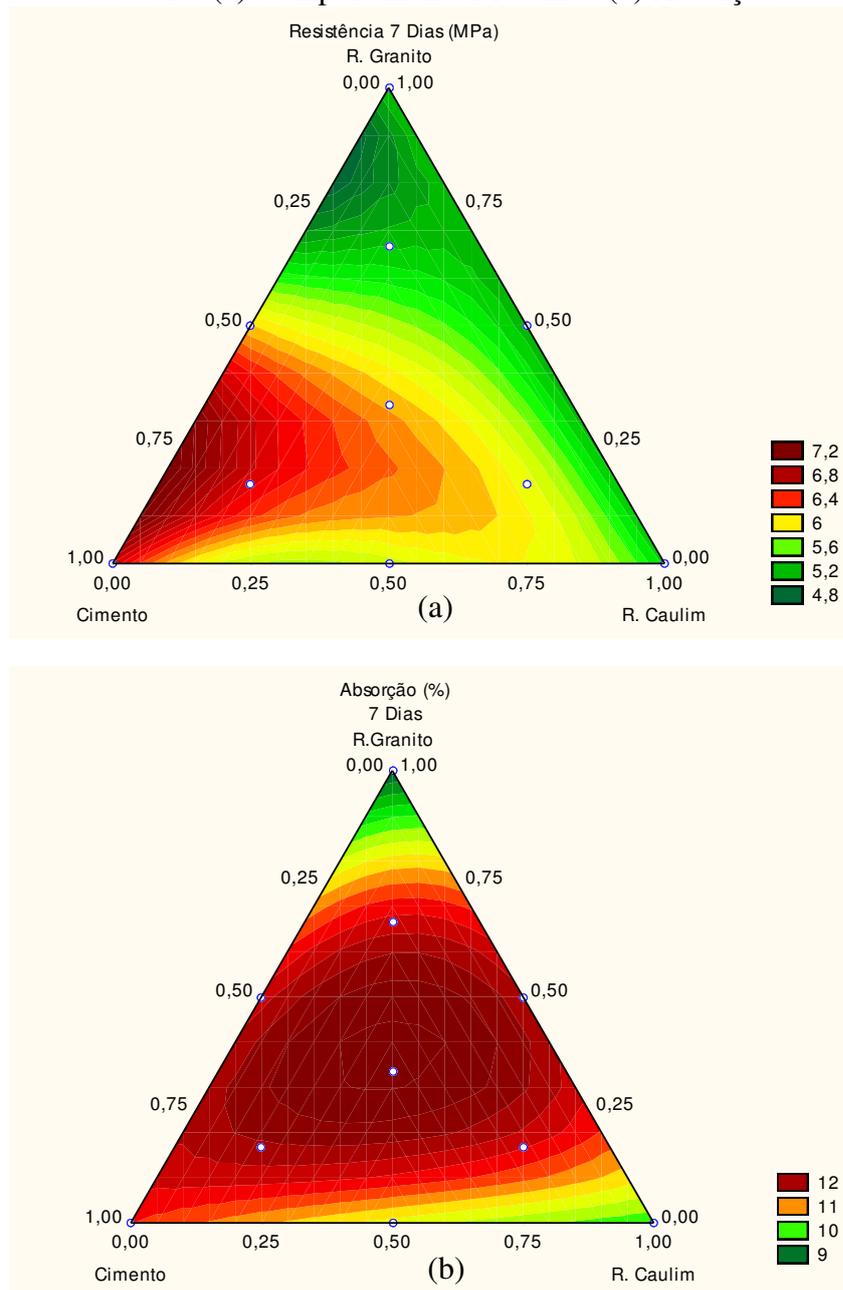
Tabela 8 – Resultados da Validação do Modelo Estatístico.

Cura	Composição (C/RC/RG)	Comportamento Mecânico	
		Real	Estimado
7 Dias	(0,5:0,4:0,1)	4,92	4,43 – 5,50
	(0,5:0,1:0,4)	6,30	5,90 – 6,97
	(0,2:0,4:0,4)	4,99	4,98 – 5,88
	(0,6:0,2:0,2)	6,53	6,52 – 6,74
28 Dias	(0,5:0,4:0,1)	6,50	6,49 – 7,52
	(0,5:0,1:0,4)	6,53	6,46 – 7,49
	(0,2:0,4:0,4)	5,43	5,31 – 6,13
	(0,6:0,2:0,2)	7,20	6,90 – 7,74

Fonte: Elaborada pela autora.

Os modelos de delineamento de mistura estudados geram equações de regressão que estimam a resistência mecânica em qualquer composição que se queira trabalhar. Essas equações foram projetadas para as propriedades analisadas após 7 e 28 dias de cura a um nível de significância de 5%, onde as variáveis independentes são as proporções dos resíduos, e a dependente a resistência mecânica à compressão simples. As Figuras 12 e 13 apresentam as projeções das superfícies de resposta, calculadas a partir dos modelos ajustados.

Figura 12 – Superfície de Resposta das equações de delineamento para as condições de Cura de 7 dias (a) Comportamento Mecânico (b) Absorção



Fonte: Autoria própria, 2017.

A Figura 12a representa a superfície de resposta aos 7 dias do comportamento mecânico, percebe-se que a zona varia do verde claro ao vermelho escuro. A região que apresenta cor verde representa valores menores da resistência mecânica, enquanto que a região de cores vermelha representa valores maiores de resistência mecânica. É observado que a área que apresenta maiores valores é aquela correspondente a uma maior proporção de cimento, chegando a uma resistência mecânica de 7,2MPa, e aquelas que apresentam menores valores são aquelas em que há proporções maiores dos resíduos. Esses resultados foram satisfatórios, visto que a resistência mínima exigida para a argamassa, de acordo com a literatura, é de 1,5MPa.

A Figura 12b representa a superfície de resposta aos 7 dias da absorção de água, do mesmo modo, a superfície varia das cores verde claro ao vermelho escuro. Porém, a região que apresenta cor verde apresenta menores proporções, o que representa melhores valores de absorção. E a região que corresponde às cores em vermelho é aquela em que as proporções dos materiais apresentaram maiores porcentagens de absorção de água.

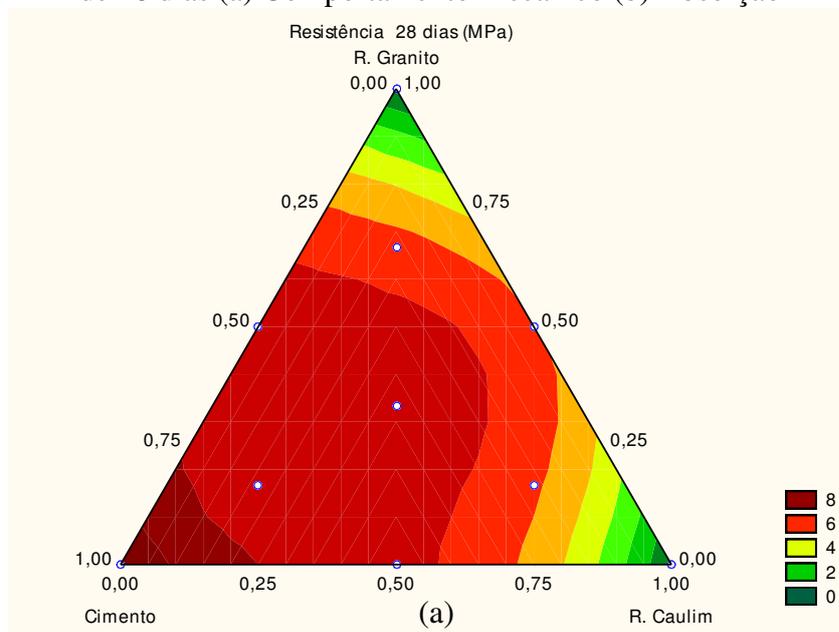
Na região central, que representa um equilíbrio entre a proporção de cada material, foi a região que apresentou maiores valores de absorção, isso pode ser devido ao fato de que, segundo Oliveira et al. (2000), a inserção de novo material promove a redistribuição granulométrica, ou seja, quando os vazios deixados pelos grãos maiores são preenchidos pelos grãos menores. Dessa maneira, se os grãos inseridos preenchem os vazios deixados por outro material, há uma melhoria de compactação refletindo na absorção. Entretanto, segundo Andrade & Guimarães (2017) há um limite de preenchimento de vazios, ou seja, os vazios podem ser completamente preenchidos com determinada proporção de um material, e a inserção de quantidades de outro material promove uma redistribuição granulométrica originando mais vazios, o que explicaria provavelmente o aumento da absorção.

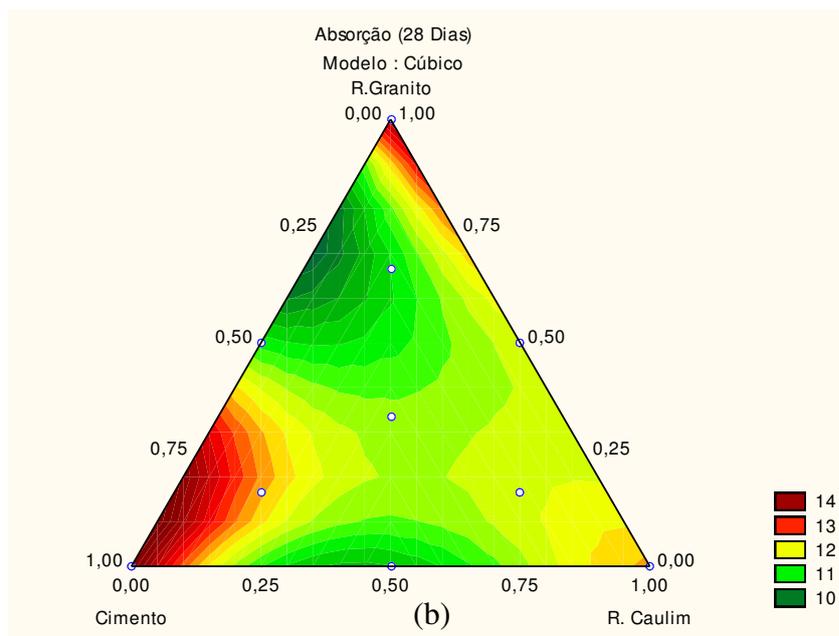
Na Figura 13a observa-se a superfície de resposta do comportamento mecânico aos 28 dias, sendo representado por maiores valores de resistência mecânica as regiões em vermelho, e por menores valores as regiões em verde. Comparando-se com o comportamento mecânico aos 7 dias (Figura 12a) é possível constatar que ao passar dos dias, em cura, a resistência mecânica aumenta, pois segundo Mehta & Monteiro, (2008). Isto ocorre porque a hidratação das partículas de cimento continua ocorrendo, reduzindo o volume de poros grandes na pasta de cimento hidratada. Na Figura 13b observa-se a superfície de resposta da absorção em água aos 28 dias, visto na área de cor verde menores porcentagens e em vermelho maiores porcentagens.

Comparando-se as Figuras 13a e 13b, é possível perceber, em alguns pontos da superfície, a relação entre o comportamento mecânico e absorção de água. Dessa maneira, percebe-se na Região central da Figura 13a maiores valores de resistência mecânica, e nessa mesma região na Figura 13b valores menores de absorção de água, comprovando-se essa relação. Porém em alguns pontos, como em áreas com mais proporção do RG, o comportamento mecânico foi baixo comparado à uma absorção mais elevada. Isso é constatado através do gráfico de Pareto (Figura 11) que, quanto maior a quantidade de resíduos de granito menor a absorção de água, o que pode ser justificado pela granulometria desse componente, que apresenta grande proporção de finos com menor diâmetro, como observado nas Tabelas 4 e 5. Dessa maneira, é possível que esses grãos, na moldagem, ocupem uma maior quantidade de espaços vazios dentro da mistura reduzindo assim sua absorção.

Em relação às proporções que contêm maior quantidade de RC, percebe-se que a porcentagem de absorção de água foi menor, comparado a outras proporções, o que pode ser explicado através de estudos de Castro (2007), que argamassas de revestimento e assentamento contendo resíduo de caulim, ocorreu uma diminuição da absorção de água com a adição desse resíduo, indicando uma diminuição no índice de vazios. Segundo o autor o RC apresenta uma larga distribuição no tamanho de partículas, sendo também observado através da Tabela 4.

Figura 13 – Superfície de Resposta das equações de delineamento para as condições de Cura de 28 dias (a) Comportamento Mecânico (b) Absorção





Fonte: Autoria própria, 2017.

A resistência à compressão aos 28 dias, representada na Figura 13a, possuindo de valores nulos até 8 MPa, pode ser classificada de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005). Assim, cada região da superfície de resposta tem classificações diferente, que vão desde a classe I para valores de 2MPa, até a classe II, com valores de 4 a 8MPa.

A partir da superfície de resposta, Figuras 12a e 13a, pode-se constatar que quanto maior a quantidade de cimento na mistura mais favorável é o comportamento mecânico e que o Resíduo de Caulim e o Resíduo de Granito se comportam de forma semelhante quando analisado o comportamento mecânico, o que pode ser justificado devido suas propriedades não inertes e semelhança na granulometria.

Dependendo da utilidade da argamassa, diferentes valores de resistência à compressão são exigidos. Segundo Silva (2008), para uma argamassa ser utilizada como alvenaria de assentamento ou para revestimento interno, essa deve ter, em uma idade de 7 dias, resistência mecânica maior ou igual a 1,5MPa. E para ser utilizada como revestimento externo resistência mecânica deve ser maior ou igual a 2,0MPa. Dessa maneira, observando-se na Figura 12a, é possível perceber que todas as zonas da superfície de resposta seriam adequadas para essas utilizações. Ou seja, para qualquer proporção dos materiais a argamassa seria adequada para essas utilidades.

Segundo a ENGEMAT (2017), a argamassa de revestimento não deve ter resistência muito reduzida nem resistência muito alta, pois estas argamassas, de maior consumo de material cimentício, embora mais impermeáveis, estão mais sujeitas à fissuração por retração

e, por terem maior módulo de deformação, têm menor capacidade de absorver deformações. Dessa maneira, o autor afirma que uma argamassa deve ter resistência à compressão máxima de 8,0 MPa e resistência à compressão mínima de valor 2,0 MPa para argamassa de revestimento interno e de tetos e 3,0 MPa para argamassas de revestimento externo e de emboço sob cerâmica

Ainda, de acordo com dados de Silva (2008), uma argamassa, com idade de 28 dias, pode ser utilizada como alvenaria de assentamento caso tenha resistência à compressão menor ou igual a 4,5MPa, utilizada como alvenaria de encunhamento, caso seja menor ou igual a 2MPa, como revestimento interno e externo com resistências menores ou igual a 5MPa e 8MPa, respectivamente. Todas essas exigências podem ser atendidas pelo gráfico da superfície de resposta, referente à idade de 28 dias, na Figura 13a, visto que toda a região do gráfico varia de valores nulos até valores de resistência igual a 8MPa.

Segundo a NBR 15270/05, a resistência à compressão dos blocos cerâmicos de vedação deve atender aos valores mínimos de 1,5MPa e 3MPa, para ser usado em blocos com furos na horizontal e na vertical, respectivamente. Dessa maneira, na idade de 7 dias todos os valores de resistência à compressão (Figura 12a) se encaixam nesse limite estabelecido. A idade de 28dias (Figura 13a), apresenta regiões em que as proporções de cada material são adequadas a esse limite estabelecido pela norma. Ainda de acordo com essa norma, a absorção de água deve entre 8% e 22%, assim sendo comprovado valores satisfatórios nas Figuras 12b e 13b.

6 CONCLUSÕES

Diante do exposto é possível perceber, depois do beneficiamento do resíduo de granito e resíduo de caulim, que esses apresentam características que proporcionam a utilização na confecção de argamassas, por se tratar de um pó com semelhanças ao cimento. A caracterização dos materiais se tornou necessário para explicar eventuais mudanças indesejadas nos resultados de resistência à compressão e de absorção.

A partir da confecção das formulações diferentes, substituindo-se parcialmente o cimento por resíduos, foi possível realizar o estudo da incorporação desses na indústria da construção civil, mais especificamente na produção de argamassa, através do estudo do comportamento mecânico. Diante disso, o planejamento estatístico do tipo delineamento de mistura mostrou que os modelos estudados foram satisfatórios, através da geração de

equações de regressão linear e da superfície de respostas que serviram de base para a validação do sistema e para a possibilidade de trabalhar com várias composições.

Através da equação de regressão linear é possível estimar valores de resistência à compressão, sabendo-se apenas a quantidade de cada material a ser utilizado. E através das superfícies de repostas é possível estimar as proporções de cada material apenas sabendo-se valores de resistência à compressão e de absorção.

Dessa maneira, os valores encontrados nas superfícies de repostas foram satisfatórios, visto que há várias possibilidades de uso da argamassa estudada, como uso para uma argamassa ser utilizada como revestimento externo e revestimento interno e de teto, obtendo valores de 3,0 MPa, 2,0 MPa, respectivamente. Também, de acordo com os valores encontrados, pode ser utilizada em blocos cerâmicos de vedação atendendo valores mínimos de 1,5MPa e 3MPa, para ser usado em blocos com furos na horizontal e na vertical, respectivamente. O limite do ensaio de absorção também se encontrou no limite entre 8% e 22%, sendo valores satisfatórios.

7 TRABALHOS PUBLICADOS

SEVERO, C. G. S. ; SILVA, L. T. M. S. ; Bezerra, U.A. . Influência do NaCl na durabilidade de concreto com substituição parcial do cimento por resíduo de rochas ornamentais. In: 61º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2017, Gramado - RS. **Anais** 61º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2017.

SILVA, L. T. M. S.; Bezerra, U.A. ; SEVERO, C. G. S. . Substituição parcial do cimento portland por resíduo de caulim em concreto. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências (CONAPESC), 2016, Campina Grande - PB. **Anais** I CONAPESC, 2016. v. V. 1.

SILVA, L. T. M. S.; CAVALCANTI, I. L. R.; DE ASSIS, D. P. M.; PINTO, D. P. . Desenvolvimento de argamassa com substituição parcial do cimento por resíduos de indústrias do beneficiamento de minerais. In: II Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências (II CONAPESC), 2017, Campina Grande - PB. **Anais** II CONAPESC, v.1. 2017.

SILVA, L. T. M. S.; SEVERO, C. G. S. ; Bezerra, U.A. . **Comparativo do comportamento mecânico em concreto com substituição parcial com resíduos minerais**. Ciência, Inovação e Tecnologia. 1ed.Campina Grande, PB: EPGRAF, v. 1, p. 1-262. 2016.

SILVA, L. T. M. S.; SEVERO, C. G. S.; Bezerra, U.A. **Utilização do resíduo de granito como substituição parcial do cimento na produção de concreto**. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC). Fortaleza – CE. v. 2. 2015.

8 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Visto a viabilidade dos resultados quanto ao comportamento mecânico nas argamassas, pode-se realizar como trabalhos posteriores o estudo de outras propriedades de argamassa, como, no seu estado fresco, a trabalhabilidade que facilita o assentamento de blocos, e a retenção de água que garante a hidratação do cimento. Também pode-se estudar mais aprofundado no seu estado endurecido, além das propriedades de resistência mecânica e absorção, avaliadas nesse trabalho, o estudo de resistência de aderência e durabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP - Associação Brasileira De Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 7217**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. ABNT, 1987.

_____ **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro. ABNT, 2005.

_____ **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. ABNT, 1987.

_____ **NBR 13281** – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. 2005

_____ **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. ABNT, 1994.

_____ **NBR 7173**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro. ABNT, 1982.

_____ **NBR 11579**: Cimento Portland - Determinação da Finura Por Meio da Peneira 75 Micrometros. Rio de Janeiro. ABNT, 1991.

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

_____ **NBR 15270-1** – Componentes Cerâmicos - Parte 1 – Blocos Cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro. ABNT, 2005.

_____ **NBR 7200**–Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro. ABNT, 1998.

_____ **NBR 10004**–Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. ABNT, 2004.

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

ABREU, U. A.; RUIZ, M. S.; CARUSO, L. G. **Perfil 7- Rochas dimensionadas e aparelhadas**. In: RUIZ, M. S.; NEVES, M. R. (Coord.). Mercado produtor mineral do estado de São Paulo. São Paulo: I.P.T., p. 137-151. 1990.

ANDRADE, E. S.; GUIMARÃES, C. C. Propriedades de argamassas com eva (ethylenevinylacetate) em substituição parcial ao agregado. REEC – **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. v.13, n.1. 2017.

ANJOS, C. M.; NEVES, G. A. Utilização do resíduo de caulim para a produção de blocos solo-cal. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6.2, p. 91-96. 2011.

ANJOS, C. M. **Utilização de resíduos de caulim em tijolos de solo-cal**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental). Campina Grande – PB. 2011.

ARAÚJO, G. A. B. C. **Contribuição ao estudo das propriedades de argamassas com saibro da região de Maceió (al) para revestimentos**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto alegre. 1995.

BABISK, M. P. **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais**. Dissertação (mestrado). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2009. 90 f.

BARATA, M. S.; ANGÉLICA, R. S. Caracterização dos resíduos caulíníticos das indústrias de mineração de caulim da amazônia como matéria-prima para produção de pozolanas de alta reatividade. **Revista Cerâmica** v.58. p.36-42. 2012.

BARROS NETO, B., SCARMINIO, I. E., BRUNS, R. E., **Planejamento e Otimização de Experimentos**, 2ª Ed., Editora da Unicamp, Campinas, SP. 1996.

BILDHAUER, D. C.; BRUXEL, F. R.; DE SANTANA, E. R. R.; OLIVEIRA, E. C. Tijolos maciços com características refratárias a partir da incorporação de resíduo de mármore e granito. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 16, n. 25, p. 01-100, jan./jun. 2015.

BRASIL. Decreto - **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 18 de novembro de 2017.

BUTTON, S. T. IM 317 - **Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados**. Universidade Estadual De Campinas. Faculdade De Engenharia Mecânica. Programa De Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Campinas. 2016. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/pos-graduacao/IM317/apostila.pdf>>. Acesso em 19 de novembro de 2017.

CABRAL, V. A. L. **Avaliação da incorporação do lodo da ETA UFV na manufatura de tijolos de solo-cimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa Minas Gerais. 2013.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. **Planejamento de experimentos usando Statistica**. E-Papers Serviços Editoriais. Rio de Janeiro. cap.11. 2003.260p.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed. cap.10. 2003.

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.; Alípaz, S. A gestão de recursos hídricos e a mineração. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM, 2006. pág. 199 a 231. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em: 16 de outubro de 2017.

CARASEK, H. IBRACON. **Argamassas**. 2010. Disponível em: http://transportes.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf . Acesso em 25 de novembro de 2017.

CASTRO, W. A. M. **Incorporação de resíduos de caulim em argamassas de assentamento e revestimento para uso em construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). CCT/UFMG. Campina Grande, Paraíba. 2007.87p.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. DE P. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos; Projeto Bula**. São Paulo: ABIROCHAS, 2009 118 p.: il. Disponível em <https://www.abirochas.com.br/biblioteca/guia.pdf>, acesso em 08 de novembro de 2017.

COELHO, M. S. **Otimização de múltiplas respostas na extração de metabólitos especiais de folhas secas de Eucalyptus badjens is Beuzev. & Welch, Myrtaceae, através do planejamento de misturas do tipo Simplex-Centroid e análise de superfície de resposta**. Dissertação (mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2014.95 f.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

_____ **Resolução n. 001** de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.

DEPEC – Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos. **Cimento** – junho de 2017. Disponível em:

<https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_cimento.pdf>. Acesso em 17 de novembro de 2017.

DIAS, A. T. **Incorporação de resíduos de cerâmica vermelha como adição pozolânica na substituição parcial do cimento em argamassas.** Trabalho de licenciatura. Universidade Eduardo Mondlane. Faculdade De Ciências Departamento de Química. Maputo. 2013.

DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral). **Caulim.** 2017. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/6-2-caulim/view>>, acesso em 02 de novembro de 2017.

ENGEMAT - Palavra do Especialista. **Escolha da Argamassa de Revestimento.** Disponível em: <<http://www.engemat.com.br/engemat-detahes.php?id=11>>. Acesso em 26 de novembro de 2017.

FERREIRA, K. C. **Estudo de parâmetros físicoquímicos para a produção de argamassas utilizando resíduos industriais e da construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Pará. Belém. 2014.

FREIRES, H. P. **Efeitos da co-utilização dos resíduos do beneficiamento do caulim e da extração do granito rain Forest para a produção de revestimento cerâmicos com baixa absorção de água.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Depto. de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Fortaleza. 2011.

FURTADO, J.; URIAS, E. **Recursos naturais e desenvolvimento: estudos sobre o potencial dinamizador da mineração na economia brasileira.** IBRAM, – 1. ed. – São Paulo. 2013

GIACONI, W. J. **Perfil atual da indústria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES).** Dissertação de Mestrado na Área de Administração e Políticas de Recursos Minerais. Campinas: USP, 1998.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Economia mineral.** Set. 2017. Disponível em <<http://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2017/10/economia-mineral.pdf>>, acesso em 14 de novembro de 2017.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações sobre a economia mineral brasileira** 2015a. Brasília, out. 2015. Disponível em <<http://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Economia-Mineral-Brasileira.pdf>>, acesso em 14 de novembro de 2017.

IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações sobre a economia mineral brasileira** 2015b. Brasília- DF, setembro/2015. Disponível em

<<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>>, acesso em 14 de novembro de 2017.

IDEIES - Instituto de Desenvolvimento Educacional e Industrial do Espírito Santo. **Análise de competitividade do setor das indústrias de rochas ornamentais do estado do espírito santo.** 2016. Disponível em

<<https://desenvolvimento.es.gov.br/Media/sedes/Contratos%20de%20competitividade/An%C3%A1lises%20de%20Competitividade/An%C3%A1lise%20Competitividade%20%20Rochas%20Ornamentais%20e%20Moagem%20de%20C%C3%A1lcario%20%202017.pdf>>, acesso em 15 de novembro de 2017.

INMETRO. **Informação ao consumidor.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/tijolo.asp>>. Acesso em 18 de novembro de 2017.

KARPINSK, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; KUREK, J.; PANDOLFO, L.; GUIMARÃES, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental.** Porto Alegre. 2009. 163 p. Disponível em: <<http://www.sinduscondf.org.br/portal/arquivos/GestaodeResiduosPUCRS.pdf>>. Acesso em 15 de novembro de 2017.

LIMA, R. DO C. DE O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solocimento incorporados com resíduo de granito.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande. 2010.107f.

LIMA, S. A.; SALES, A.; MORETTI, J. P.; DOS SANTOS, T. J. Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. **Revista Tecnológica.** Edição Especial ENTECA. p. 87-97, 2009.

LIMA, W. B. C.; LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Incorporação de resíduo lama do processo de beneficiamento de granito na argamassa expansiva de demolição. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos.** v. 11, n. 2 (2016) 89–95. 2016.

LOPES, F. B.; BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; DE ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G. Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperespectral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, PB. v.18, p.S13–S19. 2014.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n.3, p. 405-418, set./dez. 2008.

MARÇAL, R. L. S. B. **Fabricação de vidros especiais a partir de resíduos de corte e polimento da indústria de rochas ornamentais**. 2011. Dissertação (mestrado) - Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2011. 79 p.

MEDEIROS, E. N. M; SPOSTO, R. M.; NEVES, G. DE A.; MENEZES, R. R. Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica. Utilização da técnica de planejamento. **Revista Cerâmica** v. 56, p.399-404. 2010.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON, 2008, 61-65.

MENEZES, R.R.; ALMEIDA, R. R.; SANTANA, L. N. L.; NEVES, G. A.; LIRA, H. L.; FERREIRA, H. C. Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. **Revista Cerâmica**. v. 53, p. 192-199. 2007.

MESQUITA, A.S.G. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí. **Revista HOLOS**, ano 28, v.2. 2012

MIRANDA, R. M. **Desenvolvimento de uma estrutura sanduíche de base polimérica, produzida com resíduos das indústrias de mineração e metalurgia, para aplicação como painel divisório de ambientes internos na construção civil**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém. 2016.

MMA - Ministério do meio ambiente. **Construção Sustentável**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>, Acesso em 13 de novembro de 2017.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Pacto pela sustentabilidade em Araripe**. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=1414>>. Acesso em 17 de novembro de 2017.

MOTA, J.D; OLIVEIRA D.F, LIMA,R.C.O; **Reciclagem do resíduo proveniente da serragem de granito na confecção de tijolos de solo-cimento**. In: I Congresso Paraibano de Gestão do Lixo. Campina Grande – PB. 2009.

NÓBREGA, A. F. **Potencial de aproveitamento de resíduos de caulim paraibano para o desenvolvimento de argamassas de múltiplo uso.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Urbana) - UFPB. João Pessoa, 2007. 117p.

OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R.; PANDOLFELLI, V. C. **Dispersão e empacotamento de partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico.** São Paulo: Fazendo Arte Editorial. São Paulo. 2000.195 p.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção.** 2. ed. Porto Alegre: Globo, 1976.

REZENDE, M. L. S. **Resíduo de caulim primário como material pozolânico em concreto seco: propriedades físico-mecânicas e durabilidade.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Paraíba. 2013.

REZENDE, M.L.S.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. DE A.; NASCIMENTO, J. W. B.; ANTONIO FARIAS LEAL. Utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto jul/set. v.61, n.3.2008.

ROCHA JUNIOR, C. A. F.; ANGELICA, R. S.; NEVES, R. F. Síntese de zeólita do tipo faujasita: comparação entre caulim beneficiado e caulim flint. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 358, p. 259-268, abr./jun. 2015.

ROCHA, C. H. B.; SOUSA, J. G. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação Cachoeiro de Itapemirim –ES.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, n.9, 2010.

RODRIGUES, M. S.; BERALDO, A. L. Caracterização física e mecânica de argamassas à base de cimento portland e cinza de casca de arroz residual. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.193-204. mar./abr. 2010.

SANTOS, E. A.; LIMA, S. M. S. Impactos ambientais causados pela extração de caulim no distrito Barra de Juazeirinho (PB). **Revista Scire.** v.1, n.1. 2012.

SANTOS, J. DOS. **Caracterização de resíduos de rochas ornamentais: aplicação de conceitos mecanoquímicos.** Dissertação (Mestrado em Química na área de Físico-Química). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química. Campinas, São Paulo. 2016.

SCHWENGBER, E. R. **Resíduos da construção civil.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Direito Ambiental Nacional e Internacional). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2015.82p.

SETEC. **Rochas ornamentais. Cartilhas Temáticas.** Ministério da Educação - Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Brasília, novembro de 2007. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf3/publica_setec_rochas.pdf>, Acesso em: 16 de outubro 2017.

SEVERO, C. G. S.; LIRA, B. S.; COSTA, D. L.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A. Ativação alcalina de resíduos minerais com NaOH. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos.** Campina Grande, Paraíba. v.8.2, p. 106 –109. 2013.

SILVA, A. S. R. **Argamassas: conceitos, tipos e funções. Comunidade da construção – Sistemas à base de Cimento.** Salvador, 2008. Disponível em :< <https://pt.scribd.com/doc/24767831/Argamassa-Conceito-Funcao-e-Tipos>>. Acesso em 25 de novembro de 2017.

SILVA, A. S.; BARBOSA, D. S.; SACRAMENTO, I. G.; DE JESUS, T. J. M.; MACEDO FILHO, M. D. **Gestão dos resíduos sólidos gerado pelo setor da construção civil (construtoras) em Aracaju.** Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas Unit. v. 2, n.1, p. 137-144. Aracaju. mar. 2014.

SILVA, B. J.; MENEZES, R. R.; SANTANA, L. N. L.; MELO, L. R. L.; NEVES, G.A.; FERREIRA, H.C. Uso de técnicas estatísticas para modelar a resistência à flexão de corpos cerâmicos contendo resíduo de granito. **Revista Matéria.** v.17 n.1. Rio de Janeiro. 2012.

SILVA, H. C.; DE SOUZA, F. A. C.; DA SILVA, N. S.; HOTZA, D. Otimização de Fórmulas de Massas Cerâmicas de Faiança. **Revista Cerâmica Industrial.** v.14, n.1, jan./fev. 2009.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Dados do setor- **Produção de cimento.** Disponível em: <<http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>>. Acesso em 17 de novembro de 2017.

SOUZA, L. L. **Aproveitamento de resíduo de caulim em cerâmica branca.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal - RN. 2007.

TORGAL, F. P. **Execução e reparação de infra-estruturas com recurso a betões correntes ou o barato sai caro (em termos económicos e ambientais) Maquinaria – Perspectiva Global,** n. 227, p. 56-62, Nov.Dez./2012.

VALPORTO, M. S.; AZEVEDO, P. S. **Gestão do design na identificação dos fatores de impactos ambientais da construção civil.** Estudos em Design. Revista (online). Rio de Janeiro: v. 24, n. 1, p. 124 – 151. 2016.

VIEGAS, I. M. A. **Estabilidade oxidativa de biodieseis por planejamento de misturas e modelagem polinomial**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Maranhão. São Luís. 2016.99 f.

WATSON, I. A. N. Kaolin Review, **Industrial Minerals**, n 176, p.17-39, May 1982.