



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS CAÇAPAVA DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA MINERAL

JULIANO TESSINARI ZAGÔTO

**ESTUDO DO REJEITO DA LAVRA DE ROCHAS
ORNAMENTAIS DO ESPÍRITO SANTO PARA A
PRODUÇÃO DE BRITA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Caçapava do Sul
11 de agosto 2016

JULIANO TESSINARI ZAGÔTO

**ESTUDO DO REJEITO DA LAVRA DE ROCHAS
ORNAMENTAIS DO ESPÍRITO SANTO PARA A
PRODUÇÃO DE BRITA**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós
Graduação Strictu sensu em Tecnologia Mi-
neral da Universidade Federal do Pampa –
Campus Caçapava do Sul, como requisito par-
cial para obtenção do Título de Mestre em
Tecnologia Mineral

Orientador: Prof^o Dr. Régis Sebben Paranhos
Coorientadora: Prof^a Dr^a Delia Del Pilar
Montecinos de Almeida

Caçapava do Sul
11 de agosto 2016

Resumo

O Brasil é um importante produtor de rochas ornamentais no cenário mundial. O Estado do Espírito Santo (ES) tornou-se referência mundial em mármore e granito, além de destacar como líder absoluto na produção nacional de rochas com investimentos do parque industrial brasileiro no setor de rochas ornamentais com mais de 600 jazidas ativas de granito, produzindo até 500 tipos diversificados deste produto. Toda esta produção gera um volume considerável de rejeitos, que são depositados em pilhas, tornando-se um passivo ambiental. Esses rejeitos são gerados na abertura da pedreira, e principalmente durante o desenvolvimento das bancadas, devido ao descarte de blocos considerados fora das especificações de mercado ou ainda blocos com defeitos, tais como presença de fraturas e trincas, tanto as de origem tectônica, quanto as resultantes das fases críticas das operações de lavra, assim como no manejo de explosivos, tombamento de painéis, manuseio dos blocos e principalmente devido ao alívio das tensões internas das rochas. O objetivo geral desta pesquisa é caracterizar os rejeitos grosseiros provenientes da lavra de rochas ornamentais, buscando uma aplicação na construção civil. A metodologia utilizada foi um estudo de caso, caracterizando dois rejeitos de duas empresas situadas no noroeste do estado do Espírito Santo. Para esta caracterização utilizou-se algumas técnicas de caracterização geológica como descrição microscópica e fluorescência de raios X, além de ensaios de caracterização do agregado, como britagem, peneiramento, abrasão los angeles e compressão uniaxial. Cabe destacar que os resultados peneiramento e compressão uniaxial foram satisfatórios. Concluímos assim, que os rejeitos caracterizados enquadram-se parcialmente nas especificações mercadológicas, deixando assim base para futuras aplicações na indústria.

PALAVRAS-CHAVE: Rochas Ornamentais, Caracterização do Rejeito de Rocha, Emprego na Construção Civil.

Abstract

Brazil is a major producer of ornamental stones on the world stage. The State of Espírito Santo (ES) has become a world reference in marble and granite, and stand out as the absolute leader in the national production of rocks by the Brazilian industrial park investment in the ornamental stones sector with more than 600 active mines (quarries) of granite, producing up to 500 types diversified of this product. This huge production generates a considerable amount of waste (rock blocks) that are deposited in piles, becoming an environmental liability. These wastes are generated at the opening of the quarry, and especially during the development of the benches due to the disposal of blocks considered outside of market specifications or blocks with defects such as the presence of fractures and cracks, both of the tectonic origin ones, as the ones resulting from the critical phases of mining operations, as well as in handling of explosives, tipping of the panels, handling of blocks and mainly due to the relief of the internal stresses of the rocks. The objective of this research is to characterize the coarse wastes from the mining of ornamental stones, seeking an application in construction. The methodology used was a case study, featuring two wastes for two companies located in the northwest of the State of Espírito Santo. For this characterization was used some geological characterization techniques such as microscopic description, X-ray fluorescence, and aggregate characterization tests, such as crushing, screening, and Los Angeles Abrasion uniaxial compression. It should be noted that the sieving and uniaxial compression results were satisfactory. We conclude therefore, that the tailings characterized fit partially in the marketing specifications, thus leaving a basis for future applications in industry.

KEYWORDS: Ornamental Stones, Characterization of the Rock Waste, Application in Construction

Lista de Figuras

Figura 1 – Municípios que se localizam os jazidas dos rejeitos estudados: Barra de São Francisco (E1), Nova Venécia (E2) e Colatina (Brita de referência)	11
Figura 2 – Disposição dos rejeitos das empresas E1 e E2, respectivamente.	21
Figura 3 – Fluxograma das etapas de campo e experimentais	22
Figura 4 – Material britado, sendo homogeneizado em pilhas cônicas e quarteado.	24
Figura 5 – Amostras dos materiais passante e retido na peneira 1,7 mm.	26
Figura 6 – Amostras das empresas E1 antes do ensaio de durabilidade e a amostra da empresa E2 durante a imersão na solução de Sulfato de Sódio Anidro (Na_2SO_4).	27
Figura 7 – Amostra da empresa E1 lavada com a solução de Cloreto de Bário (BaCl_2).	27
Figura 8 – Amostras das empresas E1 antes dos ciclos de imersão e da empresa E2 depois dos 5 ciclos de imersão	28
Figura 9 – <i>Slump test</i>	32
Figura 10 – Corpos de prova das empresas E1, E2 e da brita de referência moldados e rompidos, respectivamente.	33
Figura 11 – Presença de quartzo (Qtz) e plagioclásio (Plg). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.	35
Figura 12 – Presença de quartzo (Qtz), feldspato (Fsp) e biotita (Bt). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.	35
Figura 13 – Detalhe da presença de granada (Grd). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.	36
Figura 14 – Detalhe da presença de cordierita (Crd). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.	36
Figura 15 – Microfotografia mostrando a presença de quartzo (Qtz), feldspato (Fsp) e biotita (Bt). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.	37
Figura 16 – Microfotografia mostrando a presença de cordierita (Crd), pertita (Pe) e ortoclásio (Or). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.	37
Figura 17 – Distribuição Granulométrica da Amostra 1 da Empresa E 1.	39
Figura 18 – Distribuição Granulométrica da Amostra 2 da Empresa E 1.	39
Figura 19 – Distribuição Granulométrica das Amostras 1 e 2 da Empresa E 1.	40
Figura 20 – Distribuição Granulométrica da Amostra 1 da Empresa E 2.	41
Figura 21 – Distribuição Granulométrica da Amostra 2 da Empresa E 2.	42
Figura 22 – Distribuição Granulométrica das Amostras 1 e 2 da Empresa E 2.	42

Figura 23 – Distribuição Granulométrica Comparativa entre as Amostras das Empresas E1 e E2.	43
Figura 24 – Amostra da Empresa E1 - Granulemetria 19,00 mm	45
Figura 25 – Amostra da Empresa E1 - Granulometria 9,5 mm	45
Figura 26 – Amostra da Empresa E2 - Granulometria 19,00 mm	46
Figura 27 – Amostra da Empresa E2 - Granulometria 9,5 mm	47
Figura 28 – Gráfico comparativo representando a resistência à compressão uniaxial dos corpos de prova	52
Figura 29 – Gráficos de compressão uniaxial da brita E1	60
Figura 30 – Gráficos de compressão uniaxial da brita E2	61
Figura 31 – Gráficos de compressão uniaxial da brita de referência	62

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Valores das análises de fluorescência raios X dos rejeitos das empresas E1 e E2	34
Tabela 2 – Distribuição Granulométrica das Amostras 1 e 2 da Empresa E1	38
Tabela 3 – Distribuição Granulométrica das Amostras 1 e 2 da Empresa E 2.	41
Tabela 4 – Resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles para as amostras da Empresa E1	43
Tabela 5 – Resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles para as amostras da Empresa E2	44
Tabela 6 – Resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles de uma brita comercial da região	44
Tabela 7 – Distribuição Granulométrica do Ensaio de Resistência ao Ataque Químico	47
Tabela 8 – Resultado da perda de massa das amostras após resistência ao ataque químico	48
Tabela 9 – Resultados dos ensaios para brita comercial de referência	48
Tabela 10 – Resultado dos ensaios para a empresa E1	49
Tabela 11 – Resultado dos ensaios para a empresa E2	49
Tabela 12 – Massa unitária do agregado solto , da brita comercial padrão	50
Tabela 13 – Massa unitária do agregado compactado, da brita comercial padrão	50
Tabela 14 – Distribuição granulométrica da brita de referência	51

Sumário

1	Introdução	9
2	Objetivos	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	Estado da Arte	13
4	Justificativa	15
5	Geologia Regional	16
5.1	Geologia Local	18
5.2	Características dos depósitos visando exploração	19
6	Metodologia	21
6.1	Rejeitos estudados	21
6.1.1	Caracterização Mineralógica dos Rejeitos	23
6.2	Ensaio de Caracterização	23
6.2.1	Britagem	23
6.2.2	Peneiramento	24
6.2.3	Abrasão Los Angeles	24
6.2.4	Resistência ao Ataque de Solução de Sulfato de Sódio Anidro - Durabilidade	26
6.2.5	Determinação de massa específica, massa específica aparente, absorção de água, massa unitária do agregado solto e massa unitária do agregado compactado	28
6.2.6	Ensaio de compressão uniaxial em corpos de prova de concreto	31
7	Resultados	34
7.1	Análise de Fluorescência de Raios X	34
7.2	Caracterização Microscópica	35
7.2.1	Descrição das lâminas do rejeitos da empresa E1	35
7.2.2	Descrição das lâminas do rejeitos da empresa E2	37
7.3	Peneiramento	38
7.3.1	Empresa E1 - Amostras 1 e 2	38
7.3.2	Empresa E2 - Amostras 1 e 2	40
7.4	Abrasão Los Angeles	43
7.5	Resistência ao Ataque de Solução de Sulfato de Sódio Anidro - Durabilidade	44

7.5.1	Empresa E1 - Resultados Qualitativos	45
7.5.2	Empresa E2 - Resultados Qualitativos	46
7.5.3	Resultados Quantitativos - Empresas E1 e E2	47
7.6	Deteminação de massa específica, massa específica aparente, absorção de água massa unitária do agregado solto e massa unitário do agregado compactado	48
7.7	Ensaio de compressão uniaxial em corpos de prova de concreto	50
8	Conclusões	53
9	Sugestões para trabalhos futuros	54
10	Referências Bibliográficas	55
	 APÊNDICES	 58
	APÊNDICE A – Gráficos dos ensaios de compressão uniaxial de corpos de prova de concreto	 60

1 Introdução

De acordo com as especificações da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013), rochas ornamentais constituem material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária.

A Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), as rochas ornamentais e de revestimentos, conhecidas também como pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, são os tipos litológicos que podem ser extraídos tanto em blocos quanto em chapas, cortados de formas variadas e depois beneficiadas por esquadreamento, polimento, lustro, entre outros. No ambiente das rochas ornamentais, blocos são pedaços da rocha extraída em uma forma planejada no formato de paralelepípedo retangular, de dimensões variadas e volume geralmente entre 5 m³ a 10 m³.

As rochas ornamentais, essenciais componentes da parte sólida da crosta terrestre, compreendem vários tipos de rochas, como os granitos, ardósias, gnaisses e quartzitos. Durante toda a evolução da humanidade constituíram-se num dos principais elementos de construção utilizados pelo homem que aprendeu a extraí-las, conhecer suas características estruturais e nortear seu emprego.

Para Mendes et al (1998) as rochas ornamentais foram divididas em duas categorias comerciais: a classe dos granitos e dos mármore. A classe dos granitos, relaciona a família das rochas silicáticas, incluindo as ígneas ácidas, intermediárias e básicas, que podem ser de origem plutônica, sub-vulcânica e vulcânica. Ainda sobre os granitos, a classificação estende-se à rochas metamórficas e sedimentares com diagênese alta, representada comercialmente por quartzitos, arenitos, conglomerados e rochas migmatíticas. A segunda classificação é formada pelas rochas calcárias, tanto sedimentares quanto metamórficas.

Segundo Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais a produção total brasileira de rochas ornamentais e de revestimento supera 5,2 milhões de toneladas/ano, sendo 3 milhões de toneladas/ano de granitos, 1 milhão de tonelada/ano de mármore e o restante referente a produção de ardósias, quartzitos foliados e pedra Miracema, dentre outros. Os estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia respondem por 80% da produção nacional. O estado do Espírito Santo é o principal produtor, com 47% do total brasileiro (ABIROCHAS, 2009).

Segundo o Anuário Mineral Estadual (2015), o Estado do Espírito Santo apresenta reserva medida de mármore e granitos da ordem de 36,5 bilhões de toneladas e reservas lavráveis destes produtos de 1,7 bilhão de toneladas. Desta totalidade, a produção bruta destes materiais foi de 2,6 milhões de toneladas e a produção beneficiada da ordem de 160

mil toneladas.

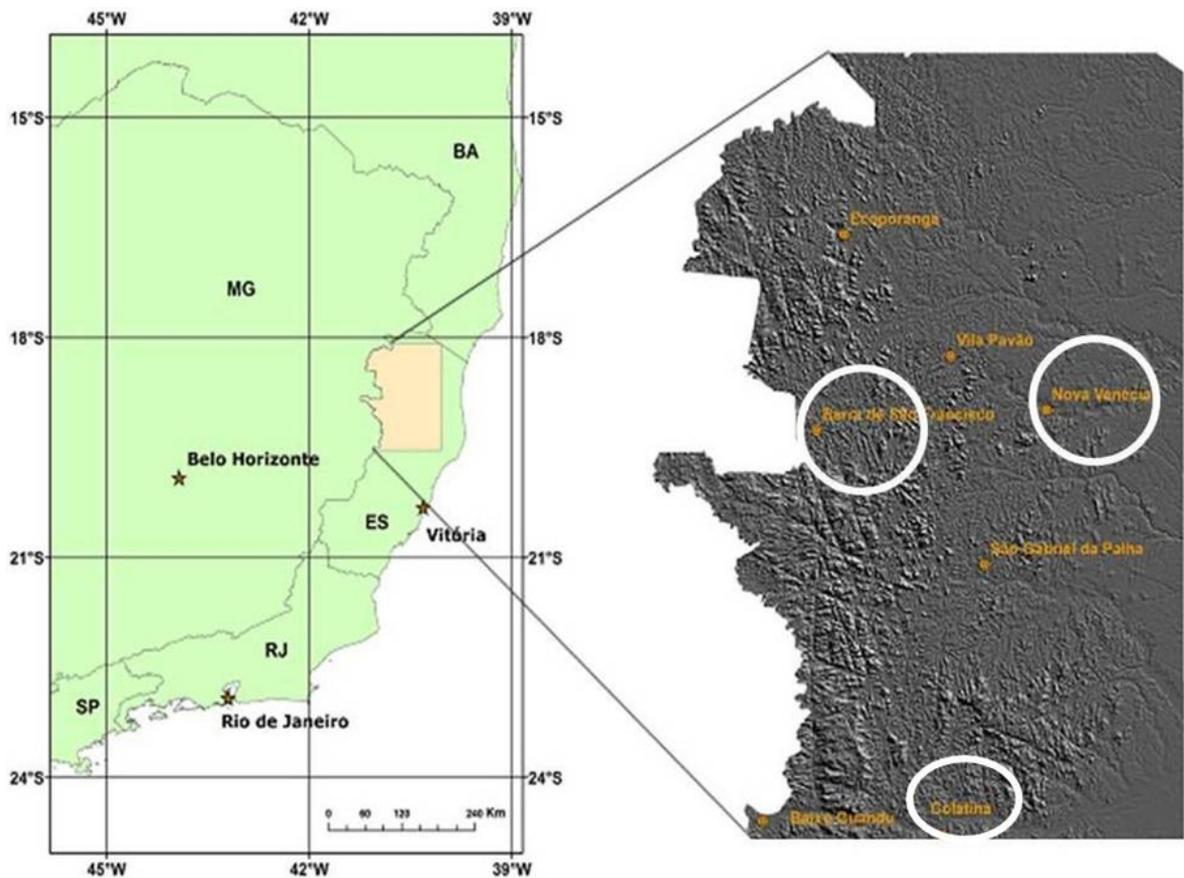
Campos et al (2009) relata que em todas as suas etapas do processo (lavra, beneficiamento e acabamento) produzem uma quantidade expressiva de rejeitos sólidos, com perdas que atingem a faixa de 65 a 75%, em média. Além de representarem perdas na produção, esta quantidade expressiva de rejeitos vai afetar o meio ambiente e a produtividade.

Campos et al (2009) explica que muitas vezes, principalmente em se tratando de micro e pequenas empresas, grande parte desses rejeitos são deixados nas próprias pedreiras, causando um grande impacto ambiental visual e estético. No caso das rochas ornamentais, isto acontece, tanto nas grandes como nas pequenas empresas. Há casos em que os rejeitos produzidos na fase do desmonte (lavra) são estocados de forma inadequada, criando riscos de acidentes e prejudicando, inclusive, a seqüência dos trabalhos na própria frente de extração (e depositados em cima da frente de lavra).

Considerando os dados levantados nas empresas que realizamos esses estudos, entre 40% e 60% do produto lavra de rochas ornamentais são destinados as pilhas de rejeitos, sendo 26% rejeitos muito finos e 14% de rejeitos grosseiro.

A área de estudo está compreendida na região noroeste do Estado do Espírito Santo (ES), especificamente nos municípios de Barra de São Francisco e Nova Venécia, distante cerca de 250 km de Vitória. Dentro da área de estudo amostraram-se duas empresas do setor de rochas ornamentais. A empresa que forneceu a brita de referência não entrou no critério de seleção, visto que o seu produto já é comercializado. Esta empresa utiliza-se de rejeitos da lavra de rochas ornamentais para produzir brita, sendo este um fator preponderante para que a brita produzida por esta empresa fosse usada como referência para alguns ensaios realizados com os rejeitos estudados. Os critérios de seleção das empresas levaram em conta os seguintes fatores: aceitar fornecer o rejeitos para os estudos e serem empresas que produzem materiais (rochas) com características geológicas diferentes. Os rejeitos amostrados foram submetidos a ensaios técnicos para viabilidade de produção de brita e correlacionados à brita de referência. Esta brita de referência serviu de parâmetro para os ensaios de abrasão Los Angeles, massa específica do agregado seco, massa específica do agregado saturado superfície seca, massa específica aparente, absorção de água, e compressão uniaxial de corpos de prova de concreto. Não fez-se necessário realizar os outros ensaios com a brita comercial padrão, por já ser um produto comercial, já estabelecida no mercado. Por motivos éticos, os nomes e a localização das empresas não serão citados, sendo identificadas como E1, E2 e brita de referência. Os municípios onde se localizam as lavras das empresas E1, E2 e da brita de referência estão demonstradas na Figura 1.

Figura 1 – Municípios que se localizam os jazidas dos rejeitos estudados: Barra de São Francisco (E1), Nova Venécia (E2) e Colatina (Brita de referência)



Menezes et al, 2012 (modificado)

A empresa E1 tem a sua principal frente de lavra à 15 km da cidade de Nova Venécia (ES), e sua produção é escoada pela Rodovia Estadual ES 381. A frente de lavra da empresa E2 está distante da cidade de Barra de São Francisco (E2) cerca de 25 km e tem a sua produção escoada pela Rodovia Estadual ES 320.

A empresa que produz a brita de referência está localizada em São Gabriel de Baunilha, distrito da cidade de Colatina (ES). Este distrito está a 32 km do centro da cidade de Colatina (ES) e a 30 km da cidade de João Neiva (ES). Chegando a cidade João Neiva, a produção é escoada pela Rodovia Federal BR 101. Seguindo até Colatina, a produção é escoada pela Rodovia Federal BR 259.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Caracterizar o rejeitos da lavra de rocha ornamental de pedreiras do Estado do Espírito Santo na fabricação de agregados para aplicação na construção civil.

2.2 Objetivos Específicos

- Submeter o rejeitos a operações de britagem, visando a redução granulométrica;
- Caracterizar amostras de rejeitos com relação à abrasividade, durabilidade, absorção de água, distribuição granulométrica, petrografia e composições química e mineralógica;
- Apresentar estudos de caso relacionados ao aproveitamento de rejeitos na mineração de rochas ornamentais;
- Caracterizar este agregado, procurando uma aplicação na construção civil.

3 Estado da Arte

Pode-se identificar no setor de mineração brasileiro três grandes fases: a primeira fase até os anos 60, caracterizada por uma visão fragmentada, quando a proteção ambiental incidia apenas em alguns recursos, particularmente naqueles relacionados mais estreitamente à saúde humana, como o controle de águas e as condições no ambiente de trabalho; a segunda, dos anos 70 a 80, iniciada com a ocorrência e discussão de questões mais amplas, como a poluição ambiental e o crescimento das cidades, culminando com a visão de futuro relativo ao meio ambiente como um ecossistema global; e a terceira, a partir dos anos 90, que posicionou o paradigma do desenvolvimento sustentável como o grande desafio, ou seja, como equacionar o desenvolvimento econômico e social com a preservação do ecossistema planetário (Vidal, 2003).

As preocupações com a preservação do meio ambiente somente apareceram nos anos 80, embora algumas empresas, na década de 70, já se preocupassem com esse tema, o que acabou se refletindo no setor de mineração.

Almeida (2001) e Cajaty *et al* (2001) estudaram os rejeitos de pedreiras e sobras de serrarias na região de Santo Antônio de Pádua, no estado do Rio de Janeiro, e das pedreiras do Ceará, respectivamente. Ambos utilizaram-se das etapas de tratamento de minérios, como britagem/classificação para produzir agregados para construção civil, procurando minimizar o impacto ambiental destes rejeitos acumulados.

Um limitador para a aplicação do rejeitos gerado nas pedreiras em Santo Antônio de Pádua como agregado em concreto estrutural seria o valor do índice de abrasão Los Angeles, que indicou um material com resistência à abrasão inferior ao recomendado. Já o índice de forma do material indicou que o rejeitos, quando britados, apresentaram forma cúbica, o que é excelente para o uso em concreto.

No ano de 2003, Silva e Vidal estudaram a possibilidade de algumas pedreiras da região do Estado do Ceará, situadas no município de Sobral e outros municípios circunvizinhos, realizarem o aproveitamento dos rejeitos da lavra. Trata-se do primeiro estudo voltado para os rejeitos grosseiros, provenientes da lavra.

Dutra (2006) estudou a aplicação de rejeitos de extração de granitos do sul do Brasil na indústria cerâmica, devido às altas concentrações de feldspato e quartzo. A quantidade de quartzo presente, bem como sua distribuição granulométrica, determinam os teores de SiO_2 e a fusibilidade dos concentrados.

As quantidades de feldspato determinam os teores relativos de K_2O , Na_2O e CaO , refletindo, significativamente, na fusibilidade dos produtos. Os minerais portadores de ferro, como a biotita, a horblenda, os piroxênios e os anfibólios, apresentam suscetibilidade

magnética significativa, permitindo a obtenção de concentrados com teores de Fe_2O_3 inferiores a 0,15% para os granitos de 0,31% para o sienito (variedade de granitóide) e cor de queima branco.

Vieira et al (2008) estudaram a aplicação de rejeitos de extração de gnaiss (rocha ornamental) em substituição à de areia na produção de cerâmica vermelha. Os resultados indicaram que a utilização dos finos de gnaiss na mistura acarretou uma melhoria na trabalhabilidade/plasticidade da massa cerâmica e acarretou uma pequena redução na absorção de água das telhas. A resistência mecânica não se alterou, dentro da precisão estatística das medidas.

Franklin Júnior (2009) e Russo (2011) estudaram os rejeitos das minerações de quartzito de diferentes regiões de Minas Gerais, com vistas de aproveitamento na indústria da construção civil. Os resultados de caracterização tecnológica nas amostras de quartzitos e da análise de concreto produzido com o agregado foram satisfatórios, com ressalvas às formas lamelares das partículas britadas em britador de mandíbula e da potencialidade deletéria dos concretos com quartzito.

No ano de 2015, pesquisadores do NRES/CETEM (Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral) fizeram o mapeamento de pedreiras do sul do estado do Espírito Santo, identificando e caracterizando os depósitos de rejeitos grossos oriundos de pedreiras de rochas ornamentais para seu possível uso como agregados na pavimentação asfáltica da BR-101, no trecho do Espírito Santo. (Castro, 2015)

Normalmente as pilhas de rejeitos são depositadas no bota fora da pedreira, mas às vezes dificultam as futuras atividades das frentes de lavra, além de implicarem em agressão ambiental. O processamento dos rejeitos deve ser realizado em áreas fora das atuais concessões de lavra, e transportados por caminhões para um lugar determinado e distante onde não haja interferência com os trabalhos de lavra das rochas ornamentais.

Além desses estudos voltados a agregados, há pesquisas visando a aplicação de rejeitos de rochas ornamentais em materiais de construção, principalmente a cerâmica vermelha.

Mesmo não sendo o foco deste trabalho, cabe destacar que alguns autores chegaram a resultados satisfatórios.

Pesquisadores do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense (Saboya Jr. et al, 2007; Xavier et al, 2009) e da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Acchar et al, 2005; Acchar et al, 2006; Silva et al, 2005) estudaram a aplicação de rejeitos de mármore e granito na produção de cerâmica vermelha. Os resultados foram satisfatórios tanto em termos de melhoria do processo, obtendo menores temperaturas de queima, como em termos de melhorias no produto final, alcançando, em alguns casos, propriedades mecânicas superiores.

4 Justificativa

O Estado do Espírito Santo (ES) tornou-se referência mundial em mármore e granito, além de destacar como líder absoluto na produção nacional de rochas, com mais de 90% dos investimentos do parque industrial brasileiro no setor de rochas ornamentais. Possui mais de 600 jazidas ativas de granito, com enorme diversificação chegando a mais de 500 tipos, constituindo-se o maior pólo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais do país (SINDIROCHAS, 2009).

Toda esta produção gera um enorme volume de rejeitos sólidos até então não aproveitados (rejeito). A caracterização destes rejeitos pode gerar resultados que o torne viável como uma nova fonte de recursos para o setor, consequentemente reduzindo a área de deposição e minimizando os impactos ao meio ambiente.

5 Geologia Regional

Em termos tectono-estrutural o estado do Espírito Santo acha-se inserido no Sistema Orogênico Mantiqueira (Almeida, 1977), Orógeno Araçuaí (Soares et. al., 2001) o qual constitui uma entidade geotectônica de idade neoproterozoica estruturada na direção NNE SSW, bordejando a porção leste do Craton do São Francisco. Esta entidade é constituída por um cinturão de rochas metamórficas, dobradas e em parte migmatizadas, incluindo suítes granitóides de idades e natureza composicional diversas, atestando distintos eventos magmáticos ao longo de sua evolução orogenética.

Sardou Filho (2013), diz que o embasamento cristalino capixaba encerra uma história geológica que se estende do Paleoproterozoico ao Recente, incluindo eventos neoproterozoicos relacionados à Orogênese Brasileira e posteriormente afetados durante o Fanerozoico, quando da formação das coberturas sedimentares cenozoicas.

Relacionados aos eventos datados do Neoproterozoico tem-se como rochas mais antigas os paragneisses e os gnaisses movimentados de coloração amarelo dourada, os quais compõem o Complexo Nova Venécia, constituídos por silimanita-granada-cordierita gnaisses bandados bem foliados, contendo intercalações calcissilicáticas, quartzíticas e anfibolíticas. São formados por níveis escuros apresentando biotita, cordierita e granada em alternância com leitos ricos em minerais félsicos de composição quartzto-feldspática.

No Estado do Espírito Santo, a granitogênese associada ao Orógeno Araçuaí está representada por rochas das seguintes suítes: Carlos Chagas, constituídas por leucogranitóides pouco foliados de textura porfirítica e equigranular, com restitos de grandes proporções de biotita gnaisses finos, cujas porções mais homogêneas são explotadas como granitos movimentados ou exóticos; - Ataléia, com litotipos tonalitos a granodioritos coloração cinza clara a cinza mediana, granulação fina a média; - Montanha, com rochas granítica a sienogranítica e mais raramente monzogranítica, com enclaves ricos em biotita, cor branca a cinza esbranquiçada, e de granulação média a grossa, apresentando foliação milonítica; - e Suíte Aimorés (esta inseria na zona de estudo), constituído por charnockitos esverdeados, gabros, enderbitos e noritos pretos a cinza-escuro.

Em Barra de São Francisco os corpos plutônicos de charnockitos ocorrem associados a sienogranitos e monzogranitos porfiríticos, com os quais mantem contatos gradacionais.

Associada a estas intrusões tem-se a exploração do charnockito verde, com presença de granada. Estes maciços charnockíticos se destacam pela frequência, homogeneidade e dimensões, caracterizando-se pela exposição das rochas em grandes paredões nas vertentes e no topo das elevações.

O Atlas de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo (2013), enfatiza que

regionalmente a Suíte Carlos Chagas constitui uma unidade muito extensa e relativamente homogênea em termos composicionais. Em zonas não deformadas uma proeminente foliação de fluxo magmático é ressaltada pelos alinhamentos dos grandes cristais subédricos de feldspatos. Em afloramento constata-se a presença de restitos de grandes proporções de biotita gnaisses finos, cujas porções mais homogêneas da mistura dos mesmos com os leucogranitos intrusivos, são explotadas como granitos movimentados ou exóticos.

Os plutonitos da Suíte Ataléia compreendem rochas mesocráticas, formadas por tonalitos a granodioritos. Em termos litoquímicos apresentam caráter peraluminoso, sendo interpretados como produtos anatéticos originados de fusões parciais em níveis crustais profundos. No geral mostram coloração cinza clara a cinza mediana, com granulação fina a média, com tipos porfiríticos subordinados. Apresentam foliação milonítica nas áreas deformadas e aspecto homogêneo e maciço no restante das áreas de exposição da unidade.

As rochas da Suíte Intrusiva Aimorés estão basicamente representadas por charnockitos esverdeados da unidade Charnockito Padre Paraíso, gabros, enderbitos e noritos pretos a cinza-escuro, dos maciços Aracruz, Ibituba e Itapina, os quais mostram, em campo, consanguineidade com granitos de caráter calcioalcalino, porfiríticos, de coloração cinza rosada. Dentre as maiores exposições de rochas da Suíte Aimorés, salientam-se as grandes intrusões de Barra de São Francisco e Alto Mutum.

Em Barra de São Francisco os corpos plutônicos de charnockitos ocorrem associados a sienogranitos e monzogranitos porfiríticos, com os quais mantem contatos gradacionais. Associada a estas intrusões tem-se a exploração do charnockito verde, cujo diferencial em relação aos plutonitos da região de Alto Mutum é a presença de granada.

No geral, ocorrem como corpos intrusivos de dimensões variáveis, mas com formato aproximadamente circular e mais raramente alongado. As rochas de composição charnockíticas apresentam coloração verde oliva a cinza-esverdeada, com textura inequigranular a porfirítica e granulação grossa. Estes maciços charnockíticos se destacam pela frequência, homogeneidade e dimensões, caracterizando-se pela exposição das rochas em grandes paredões nas vertentes e no topo das elevações.

Ainda, segundo o Atlas de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo (2013), parte dos litotipos desta unidade apresenta texturas magmáticas parcialmente recristalizadas formando mosaicos granoblásticos de excelente efeito estético. Estas feições estruturais são resultado em parte dos próprios mecanismos de intrusão podendo também resultar de uma tectônica tardia.

Também inseridos na Suíte Aimorés afloram intrusivos de composição norítica a diorítica, mais precisamente gabros a hiperstênio. No geral constituem rochas de cor preta, textura equigranular, granulação média e mostram-se destituídas de foliação.

5.1 Geologia Local

As minas das empresas E1 e E2 encontram-se implantadas sobre Suíte Intrusiva Aimorés, porém apresentam características físico-químicas diferentes.

Soares et al (2007) diz que neste ambiente geológico predominam amplamente granitos claros, em geral deformados, com texturas porfiroclásticas, formados por feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo, com biotita e granada como principais acessórios, ocorrendo eventualmente sillimanita.

Em relação aos constituintes maiores, apesar das significativas variações nos percentuais do feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo, a composição das rochas é principalmente sienogranítica, mais raramente monzogranítica.

A foliação milonítica dos granitos é realçada pelo alinhamento de biotita, que forma delgados níveis descontínuos entremeados a bandas de quartzo e feldspatos, como grandes porfiroclastos com formas oclares. Em zonas não deformadas uma potente foliação de fluxo ígneo é ressaltada por alinhamentos de grandes cristais sub-euédricos de feldspato alcalino. Granada ocorre tanto como diminutos cristais associadas aos níveis de flossilicatos como formando cristais idiomórficos, milimétricos a centimétricos, bastante fraturados e dispersos pela rocha.

A presença de enclaves é comum e constitui em geral uma feição indesejável pelos mineradores, pois comprometem a qualidade estética do material, gerando assim mais estéril, que podem estar sob forma de estreitos e sinuosos cordões ou faixas escuras ricas em biotita, forma de lentes de rochas porfiróides foliadas ou microgranulares maciças com auréolas de granada e/ou biotita ou bem como formados por xenólitos de gnaisses com bordas evidenciando progressiva assimilação pelo granito. As dimensões dos enclaves são centimétricas a métricas e geralmente estão alinhados em concordância com a estruturação da hospedeira.

Superficialmente, a Suíte Carlos Chagas distribui-se de forma contínua por grande extensão na região levantada, ocupando pelo menos 50% do seu arcabouço sustentando suas maiores altitudes, especialmente nas suas porções ocidentais, caracterizando um relevo relativamente mais acidentado formado por morros de grandes amplitudes com encostas rochosas e íngremes, freqüentemente com imponentes pontões do tipo “pão de açúcar”. Nestes segmentos a drenagem é mais encaixada, condicionada à estruturas nas direções NE e NW, e os vales relativamente mais fechados e profundos em relação aos demais quadrantes da unidade. Uma possível exceção, em termos de origem da cor amarela, que são materiais que são extraídos na Mina da empresa E2. Esta rocha é um granito foliado, localmente com foliação milonítica e rico em granada, que foi incluído na subunidade deformada da Suíte Carlos Chagas. Sua cor varia em tons de amarelo a bege salmão. Como a mina está muito profunda e a tonalidade amarela permanece, suspeita-se que a causa de

variação da cor da rocha não seja o intemperismo.

5.2 Características dos depósitos visando exploração

Sardou Filho (2013) explica que a exploração dos depósitos de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo é efetuada a céu aberto e a grande maioria situa-se em flancos de maciços rochosos, apresentando diferentes declividades e gerando grande impacto visual na paisagem regional. Tal impacto mostra maior magnitude nas áreas de exploração dos leucogranitos pertencentes aos plutonitos da Suíte Carlos Chagas, em função do grande volume de produção das minas localizadas no âmbito desta unidade geológica, com grandes frentes de lavra e conseqüentemente elevada quantidade de rejeitos gerados, que atualmente constitui um sério problema de ordem ambiental.

Esses rejeitos são gerados na abertura da pedreira durante o desenvolvimento das bancadas, devido ao descarte de blocos considerados fora das especificações de mercado. A uniformidade de padrão estético é alterada por variações de ordem cromática devido a variações na composição mineralógica da rocha, variações na textura, além da existência de veios, enclaves e de pequenas intrusões ígneas sob a forma de diques que comprometem a qualidade do material.

O rejeito gerado abrange ainda blocos com defeitos, tais como presença de fraturas e trincas, tanto as de origem tectônica, quanto as resultantes das fases críticas das operações de lavra, assim como no manejo de explosivos, tombamento de painéis, manuseio dos blocos e principalmente devido ao alívio das tensões internas das rochas. Esse fato resulta da falta de maiores investimentos em pesquisa geológica, onde o imediatismo leva a abertura das pedreiras de forma empírica, sem levar em conta o estudo e as direções do campo de tensões atuante sobre o maciço rochoso a ser explorado.

Salienta-se que em várias pedreiras, após a seleção dos blocos considerados de primeira qualidade, aqueles de segunda linha são disponibilizados a preços mais baixos para as serrarias locais, com o objetivo de produzir ladrilhos, lajotas, tiras e em certos casos para cortes de chapas.

Convém frisar, que nos maciços rochosos da Suíte Carlos Chagas, devido à ação do intemperismo químico ocorrem porções alteradas, que resultam nos granitos comerciais da linha amarela, que frequentemente se expõem de modo geral como mantos alterados que na maioria das vezes acompanham com alguma simetria a superfície dos mesmos. A espessura deste manto de intemperismo é variável podendo atingir até 20 metros, o que torna factível a sua exploração comercial. Acontece que a falta de homogeneidade da porção alterada, muitas vezes compromete a qualidade estética da rocha e conseqüentemente o seu uso como material ornamental, acarretando assim um aumento na formação de rejeitos.

A formação destes granitos da denominada linha amarela resulta principalmente

da rede de microfissuras que afeta as rochas da região e constitui o principal canal de migração e controle das soluções intempéricas ricas em Fe^{+2} . Provavelmente o processo é causado pela capilaridade, com precipitação posterior do Fe^{+3} , ocasionado pela oxigenação do ambiente, com a evaporação da água intersticial rica em ferro móvel. Convém frisar, que os planos de foliação das rochas desempenham um papel importante no controle destas águas meteóricas .

É conveniente ressaltar que este incipiente intemperismo, além de ampliar em muito o valor de mercado da rocha, ocasiona uma diminuição na sua resistência mecânica, mas sem comprometer o seu uso como material de revestimento, mas a torna mais macia ao corte, diminuindo assim o seu tempo de serragem. Tal fato acarreta uma diminuição de seus custos de serragem e polimento, notadamente no que tange ao uso de energia, granalha de aço e abrasivos.

6 Metodologia

6.1 Rejeitos estudados

A metodologia a ser utilizada neste estudo consistiu em uma pesquisa descritiva de caráter exploratório a ser enquadrada como um estudo de caso.

O primeiro passo foi classificar os rejeitos à serem estudados. Foram escolhidos rejeitos de fácil segregação, devido a forma e local de deposição dos mesmos. A partir desta classificação, foram definidas as etapas de preparação das amostras, armazenagem, manipulação, tratamento e a aplicação, de acordo com as características físicas e químicas dos rejeitos. Para caracterizar estes rejeitos optou-se por adaptar técnicas de tratamento de minérios e utilizar as normas técnicas de caracterização de agregados para a construção civil, e verificar um possível uso nesta área. A forma como estes rejeitos estão dispostos nas empresas E1 e E2 são exemplificados na Figura 2.

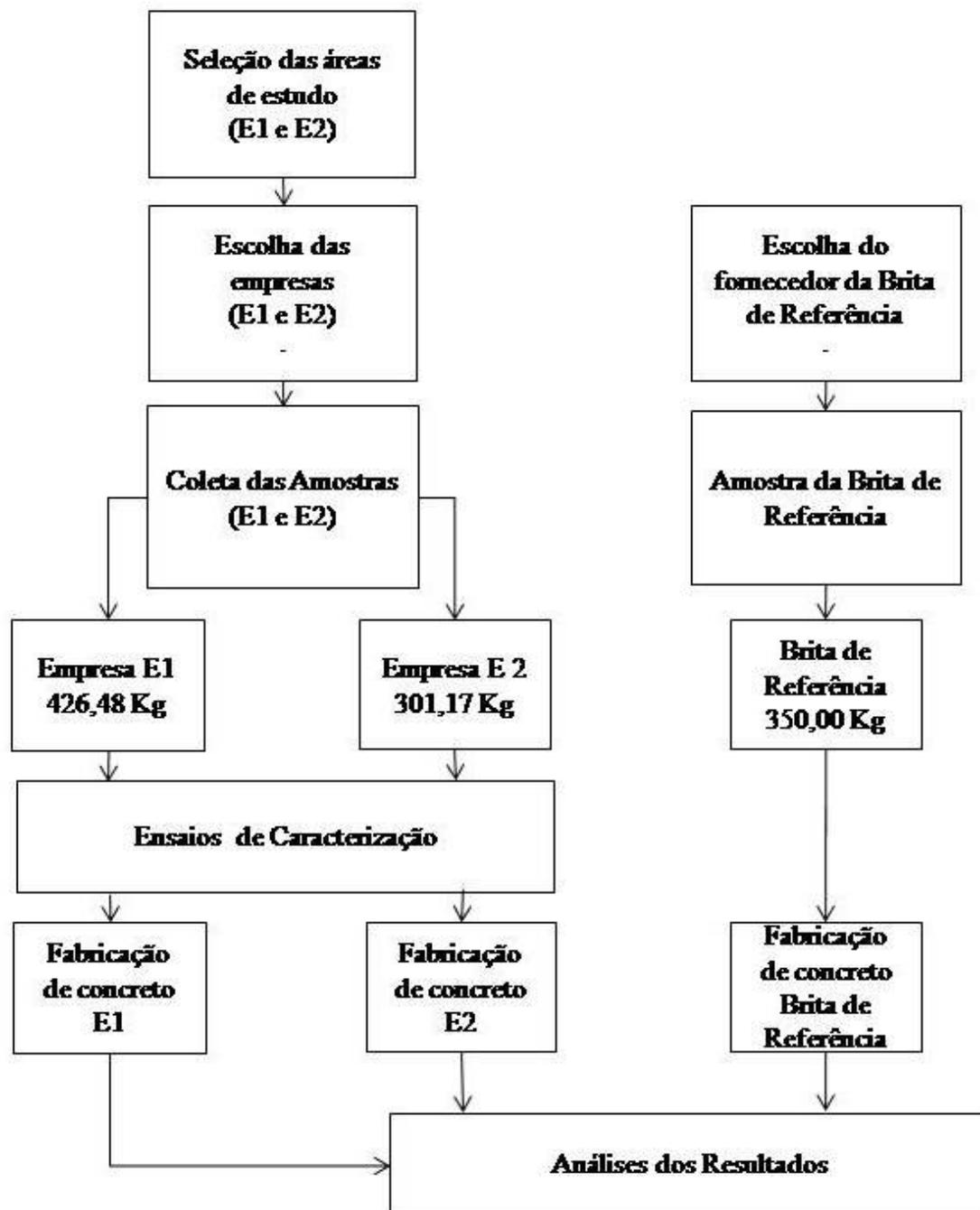
Figura 2 – Disposição dos rejeitos das empresas E1 e E2, respectivamente.



Fonte: Do autor, 2015

Basicamente, as etapas se resumem em: amostragem manual, caracterização química e mineralógica, redução do tamanho da amostra (britagem), homogeneização e quarteamento da amostra, classificação por tamanho (peneiramento), observação e quantificação das diferentes frações (distribuição granulométrica) e ensaios tecnológicos de aplicação industrial, exposto na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma das etapas de campo e experimentais



Do autor, 2016

Da empresa E1, foram recolhidos inicialmente 426,48 kg de rejeitos. Da empresa E2, foram recolhidos 301,17 kg de rejeitos. Da empresa que forneceu a brita comercial padrão, foram recolhidos 350,00 kg de rejeitos já britado, com granulometria entre 19 mm e 9,5 mm. Os rejeitos das empresas E1 e E2 foram transportados até o Laboratório de Tratamento de Minérios do Ifes – Campus Nova Venécia, onde passaram por um processo

de redução granulométrica manual, para posteriormente serem britados. As amostras de ambas empresas estudadas passaram pelas mesmas operações.

6.1.1 Caracterização Mineralógica dos Rejeitos

Foram selecionadas duas (2) amostras dos rejeitos recolhidas das empresas E1 e E2 respectivamente, onde foram realizados estudos macroscópico, microscópico e de fluorescência de raios X.

O equipamento utilizado foi um analisador portátil de fluorescência de raios X Turbo SD Handler XRF Analyser, da Bucker com tempo de duração de análise de 120,5 segundos. A caracterização microscópica foi realizada nos laboratórios da Universidade Federal do Pampa, UNIPAMPA, pela professora Dr^a Delia del Pilar Montecinos de Almeida. As lâminas foram estudadas macroscopicamente e microscopicamente. Foi utilizado o microscópio petrográfico da marca CARL ZEIS modelo AXIO LAB A1 com aumento de 5, 10, 20 e 50 vezes de propriedade da UNIPAMPA. O objetivo do estudo foi a possibilidade de identificar os minerais presentes e as características texturais dos mesmos na rocha. As amostras em forma de pó, utilizados para caracterização geoquímica também foram recolhidas pelo mesmo laboratório, porém foram encaminhadas para um laboratório no exterior.

6.2 Ensaio de Caracterização

6.2.1 Britagem

O britador utilizado foi de mandíbulas, de escala laboratorial. A abertura máxima de descarga utilizada no britador foi de 19 mm.

Após a britagem, esses rejeitos foram homogeneizados e quarteados segundo a norma NBR NM 27:2001 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.

Conforme preconiza a norma, foram feitas pilhas cônicas e homogeneizadas com enxada, exemplificada na Figura 4. Depois de realizados quatro operações de quarteamento desta forma, as alíquotas que foram encaminhadas para os ensaios foram fracionadas no separador mecânico.

Figura 4 – Material britado, sendo homogeneizado em pilhas cônicas e quarteado.



Fonte: Do autor, 2015

Antes do ensaio de peneiramento, as amostras foram colocadas em estufa à 110^o C durante 24 horas.

6.2.2 Peneiramento

Os ensaios de peneiramento foram realizados através de peneiras circulares, utilizando inicialmente peneirador vibratório.

Depois, para cada amostra, foi realizado controle, conforme preconiza a norma NBR NM 242:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

Na especificação de agregados para aproveitamento dos rejeitos como brita grosseira, é interessante conhecer as especificações destes materiais, baseado na norma ABNT NBR 7211:2009, a seguir:

- Agregado - material natural de propriedades adequadas obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm;
- Agregado graúdo - pedra britada ou brita ou pedregulho muito grosso, grosso e médio, de dimensões nominais entre 100,0 mm e 4,8 mm;
- Agregado miúdo - pedregulho fino, pedrisco grosso, médio e fino, areia grossa, média e fina, de dimensões nominais entre 4,8 mm e 0,075 mm;

6.2.3 Abrasão Los Angeles

A abrasão é o desgaste superficial dos grãos do agregado quando sofrem atrição.

Este ensaio avalia a resistência do agregado ao desgaste por abrasão, podendo definir sua qualidade e desempenho quando manuseado em carregamento, basculamento e estocagem.

O ensaio de Abrasão Los Angeles seguiu a norma a ABNT NM 51:2001. As amostras foram lavadas para retirada do excesso de material fino e do material argiloso. Após lavado o rejeitos foi levado à estufa, com temperatura média de 110^o C por 24 horas, até que sua massa ficasse inalterada.

Após seco, o rejeitos foi peneirado em três faixas granulométricas, 19,00 mm a 12,50 mm, 12,50 mm a 9,50 mm e 19,00 mm a 9,50 mm ,para cada rejeito, gerando assim 4 amostras, que segundo a norma ABNT NM 51:2001 é classificada como Graduação B, comercialmente conhecida como Brita 1.

Depois de separados em faixas granulométricas foram realizados os ensaios com as amostras na Máquina de Abrasão LOS ANGELES da CONTENCO, no Laboratório de Agregados do IFES/Campus Nova Venécia. Foram utilizadas 11 esferas, num total de 4.773,30 g, de carga abrasiva.

Conforme preconiza a norma ABNT NM 51:2001, para cada amostra nas faixas granulométricas pesquisadas foram executadas 500 rotações do tambor a 32 rpm.

Após o ensaio na “máquina Los Angeles”, as amostras foram retiradas e peneiradas na peneira 1,70 mm. O passante foi descartado e o retido foi lavado e deixado na estufa por 3 horas, em uma temperatura de 110^o C, então, este material foi pesado e foi calculada a porcentagem da Abrasão “Los Angeles”. A Figura 5 mostra as frações passante e retida na peneira 1,70 mm dos rejeitos das empresas E1 e E2.

Os resultados dos ensaios para calcular a perda por Abrasão Los Angeles dos rejeitos estudados das Empresas E1 e E2 foram calculados através da seguinte fórmula, retirada da norma ABNT NM 51:2000:

$$P = \frac{M - M_1}{M} \cdot 100 \quad (6.1)$$

onde:

P - Perda por Abrasão (%);

M - Massa do material seco (g);

M1 - Massa do material retido na peneira 1,7 mm (g).

Figura 5 – Amostras dos materiais passante e retido na peneira 1,7 mm.

Do autor

6.2.4 Resistência ao Ataque de Solução de Sulfato de Sódio Anidro - Durabilidade

O ensaio de durabilidade de agregados seguiu a Norma Rodoviária - DNER-ME089/94 - Agregados - Avaliação de durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio.

O seguinte ensaio determina a resistência à desintegração dos materiais analisados seja ela pelo tempo ou por ataques a soluções saturadas dos sulfatos citados. Logo, o objetivo do ensaio de durabilidade é quantificar a perda de material através da ação de uma solução padronizada de Sulfato de Sódio Anidro ou de Magnésio (MEURER et al, 2015).

Este ensaio visa simular as ações intempéricas que os agregados venham a ser expostos, principalmente para agregados que venham a ser aplicados na pavimentação asfáltica. Foram utilizadas 350g de sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4) para cada litro de solução utilizado no ensaio. Foram utilizados dois litros de solução para realizar o ensaios nos diferentes rejeitos estudados. A faixa granulométrica estudada foi de 19,00 mm a 9,5 mm. Para cada rejeitos estudado foram separadas amostras de 1.000 g cada uma, levando em consideração, o que preconiza a norma, 67% entre a faixa granulométrica de 19 mm a 12,7 mm e 33% entre 12,7 mm e 9,5 mm.

Seguindo a norma, o ensaio consistiu em imergir as amostras em uma solução saturada de sulfato de sódio anidro por um período de dezesseis horas em um recipiente fechado (para evitar evaporação) e em temperatura controlada de $21^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. Após este

período as amostras foram retiradas da solução e levada á uma estufa capaz de manter a temperatura de 105°C até que as amostras atinjam constância de massa. O processo de imersão e secagem alternadas totalizam um ciclo que foi repetido por cinco vezes durante o ensaio para cada rejeitos estudado (BUDNY, 2014).

Na Figura 6, são apresentadas as amostras antes e durante o ensaio de durabilidade.

Figura 6 – Amostras das empresas E1 antes do ensaio de durabilidade e a amostra da empresa E2 durante a imersão na solução de Sulfato de Sódio Anidro (Na_2SO_4).



Do autor, 2016

Após 5 ciclos de imersão para cada amostra de resíduo estudado, as amostras foram lavadas com solução de Cloreto de Bário (BaCl_2), demonstrado na Figura 7, para que fique livre dos excessos do sal utilizado na imersão.

Figura 7 – Amostra da empresa E1 lavada com a solução de Cloreto de Bário (BaCl_2).



Fonte: Do Autor, 2016

Depois foram lavadas em água corrente e secas em estufa à 105°C, até constância de peso. Após estas etapas foram realizados exames quantitativos e qualitativos nas amostras, como perda de massa, fendilhamento, quebra, desintegração, esmagamento ou laminagem.

Na Figura 8, são apresentadas as amostras antes e após os cinco ciclos de imersão.

Figura 8 – Amostras das empresas E1 antes dos ciclos de imersão e da empresa E2 depois dos 5 ciclos de imersão



Do autor, 2016

6.2.5 Determinação de massa específica, massa específica aparente, absorção de água, massa unitária do agregado solto e massa unitária do agregado compactado

Estes ensaios foram necessários para determinar o traço de concreto utilizado na confecção dos corpos de prova que foram utilizados no ensaio de compressão uniaxial. Para o ensaio de compressão uniaxial, foi realizado um estudo experimental usando como base de estudo uma brita comercial como referência. Esta brita é proveniente da britagem e peneiramento de rejeitos de rochas ornamentais. A empresa situa-se na região noroeste do Espírito Santo, porém o rejeitos apresenta características geológicas diferentes dos rejeitos da empresa E1 e E2 e já estabelecida no mercado. O traço do concreto utilizado na brita de referência foi replicado para os rejeitos das empresas E1 e E2.

Estes ensaios foram realizados segundo a norma ABNT NM 53:2009, que estabelece os seguintes passos :

- Coletar a amostra retida na peneira 4,75 mm ;
- Lavar a amostra e secar em estufa a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por vinte e quatro horas ou até constância de massa;

- Imergir a amostra em água a temperatura ambiente por no mínimo vinte e quatro horas;
- Secar superficialmente a amostra com pano úmido e determinar a massa M_s (Massa saturada superfície seca);
- Colocar a amostra em um recipiente para a determinação da massa saturada superfície seca submersa (M_a);
- Secar novamente a amostra em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por vinte e quatro horas ou até constância de massa e pesar determinando a massa seca (M).

Foram realizados os ensaios para a brita comercial padrão e os dois rejeitos estudados.

Os cálculos foram obtidos segundo a fórmulas da ABNT NM 53:2009, a seguir:

- Massa específica do agregado seco

$$\mu = \frac{M}{M - M_a} \quad (6.2)$$

onde:

μ - Massa específica do agregado seco (g/cm^3)

M - Massa da amostra seca (g)

M_a - Massa da amostra saturada superfície seca submersa (g)

- Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca

$$\mu_s = \frac{M_s}{M_s - M_a} \quad (6.3)$$

onde:

μ_s - Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca (g/cm^3)

M_s - Massa da amostra saturada superfície seca (g)

M_a - Massa da amostra saturada superfície seca submersa (g)

- Massa específica aparente do agregado

$$\mu_a = \frac{M}{M_s - M_a} \quad (6.4)$$

onde:

μ_a - Massa específica aparente do agregado (g/cm^3)

M - Massa da amostra seca (g)

M_s - Massa da amostra saturada superfície seca (g)

M_a - Massa da amostra saturada superfície seca submersa (g)

- Absorção de água

$$A = \frac{M_s - M}{M} \times 100 \quad (6.5)$$

onde:

A - Absorção de água (%)

M - Massa da amostra seca (g)

M_s - Massa da amostra saturada superfície seca (g)

Foram calculadas as massas unitárias do material utilizado como padrão no estado solto e no estado compactado. Para estas determinações foram seguidas as etapas e as fórmulas do Método C da norma ABNT NM 45:2006.

- Massa unitária do agregado solto

$$\gamma = \frac{Mra - Mr}{V_r} \quad (6.6)$$

onde:

γ - Massa unitária do agregado solto, expressa em g/cm^3 ou kg/dm^3 ;

Mra - Massa do recipiente mais massa da amostra (g);

Mr - Massa do recipiente (g);

V_r - Volume do recipiente (cm^3).

- Massa unitária para o material compactado

$$\gamma_c = \frac{Mra - Mr}{Vr} \quad (6.7)$$

Onde:

γ_c - Massa unitária do agregado compactado, expressa em g/cm³ ou kg/dm³;

Mra - Massa do recipiente mais massa da amostra (g);

Mr - Massa do recipiente (g);

Vr - Volume do recipiente (cm³).

6.2.6 Ensaio de compressão uniaxial em corpos de prova de concreto

Para o ensaio de compressão uniaxial foi seguida a norma ABNT NBR 5739:2007 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Utilizou-se um estudo experimental com uma brita comercial de referência, onde alguns parâmetros, como granulometria e traço do concreto foram fixados. As amostras desta brita foram recolhidas e separadas de acordo com as seguintes massas: amostra 1 (A1), com massa inicial de 6.039,10 g e amostra 2 (A2) com massa inicial de 5.575,30 g.

O traço teórico inicial (cimento:areia:brita:água) foi estipulado para uma resistência à compressão de 25 MPa após vinte e oito dias de cura. Então o traço teórico calculado seguiu a seguinte proporção (cimento 1 Kg: areia 2,64 Kg: brita 3,44 Kg: água 0,64 Kg). O *slump test* (abatimento - Figura 9) estipulado foi entre 7 e 9 cm.

Foram moldados vinte e sete corpos de prova, no total, sendo nove corpos de prova para cada rejeito estudado, incluindo a brita de referência. Conforme a norma ABNT NBR 5739:2007, três corpos de prova de cada rejeito foram rompidos com idade de sete, quatorze e vinte e oito dias.

Dados estatísticos como média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação estão demonstrados no Anexo A.

Figura 9 – Slump test



Ensaaios laboratoriais,2016

As quantidades de material separados para o traço teórico foram:

- Cimento: 30 Kg
- Areia: 79,20 Kg
- Brita (Brita 1): 103,20 Kg
- Água: 19,20 Kg

No final do ensaio, o traço utilizado para a brita de referência foi de (cimento 1 kg: areia 2,64 Kg: brita 3,44 Kg: água 0,62 Kg), utilizando assim a seguinte quantidade de material:

- Cimento: 30 Kg
- Areia: 79,20 Kg
- Brita (Brita 1): 103,20 Kg
- Água: 18,56 Kg

Houve uma pequena correção na quantidade água utilizada para a moldagem dos corpos de prova da brita comercial padrão.

Para os agregados provenientes dos rejeitos das empresas E1 e E2, foram mantidos os valores do traço teórico.

Na Figura 10, os corpos de prova sendo moldados e depois já rompidos.

Figura 10 – Corpos de prova das empresas E1, E2 e da brita de referência moldados e rompidos, respectivamente.



Do autor, 2016

7 Resultados

7.1 Análise de Fluorescência de Raios X

Resultados da análise de fluorescência raios X das amostras das empresas E1 e E2.

Tabela 1 – Valores das análises de fluorescência raios X dos rejeitos das empresas E1 e E2

Elementos	Concentração (%)	
	E1	E2
MgO	2,40	1,95
Al ₂ O ₃	16,00	16,40
SiO ₂	70,70	70,20
K ₂ O	3,00	4,75
CaO	0,57	0,69
TiO ₂	-	0,26
MnO	-	0,26
Fe ₂ O ₃	0,42	1,47
S	-	0,06
Cl	0,02	0,08
Rb	0,01	0,02
Cu	-	0,01
Zn	-	0,01
Y	-	0,03

Análises Laboratoriais, 2016

O conteúdo de titânio (Ti) está de acordo com os conteúdos de sílica e com a mineralogia observada nas lâminas petrográficas, assim, isso se manifesta pela não presença de minerais como rutilo e titanita, que tem titânio (Ti) em sua estrutura. O conteúdo de magnésio (Mg) em ambas amostras pode ser explicada pela presença de granada, cordierita e biotita, que ao microscópio sugere que a biotita em ambas amostras era rica em magnésio (Mg), assim podendo apresentar-se como biotita magnesiana ou flogopita. Observando também que esta biotita é mais abundante na amostra E1. Os teores de alumínio (Al) está vinculado a presença de minerais como feldspato, micas, cordierita e granada. Considerando o conteúdo de cálcio (Ca) e potássio (K), o feldspato presente é principalmente potássico. Considerando o alto conteúdo de potássio (K) na amostra E2 e observado ao microscópio com a presença abundante de feldspato alcalino como microclínio, pertita e ortoclásio.

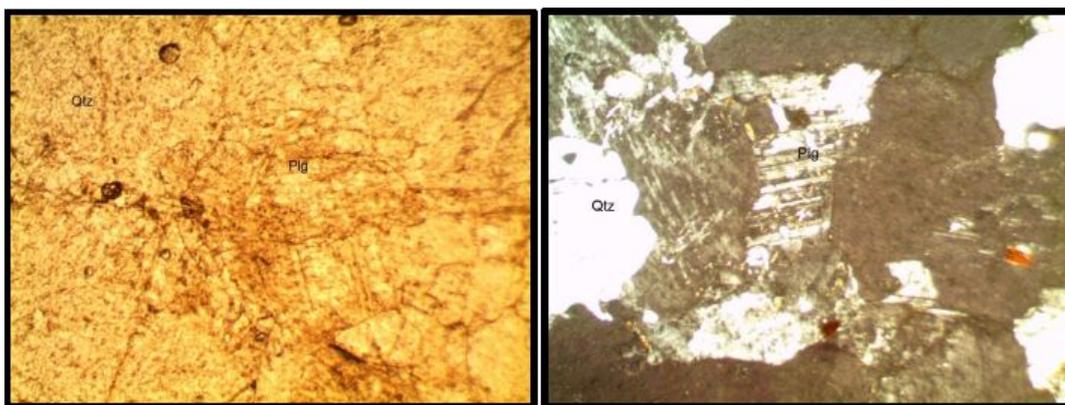
7.2 Caracterização Microscópica

7.2.1 Descrição das lâminas do rejeitos da empresa E1

As microfotografias das lâminas petrográficas do rejeitos da empresa E1 são representadas pelas Figuras 11, 12, 13 e 14.

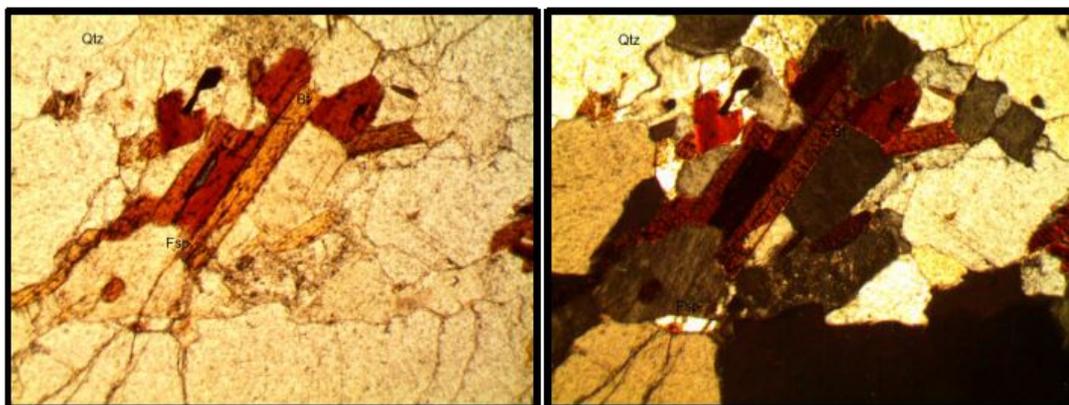
Cristais euédricos de plagioclásio com comprimento entre 0,4 mm à 1,2 mm, geralmente com macla albita. Pertita e quartzo com extinção ondulante também se encontram assim como biotita provavelmente magnésiana (pleocroísmo variando de vermelho forte a mais fraco) com comprimento entre 0,2 mm á 1 mm, por vezes alterada a clorita e distribuídas de forma aleatória. Somente uma química mineral poderia confirmar que o mineral e biotita ou inclusive flogopita. Calcita preenchendo fraturas.

Figura 11 – Presença de quartzo (Qtz) e plagioclásio (Plg). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.



Análises Laboratoriais, 2016

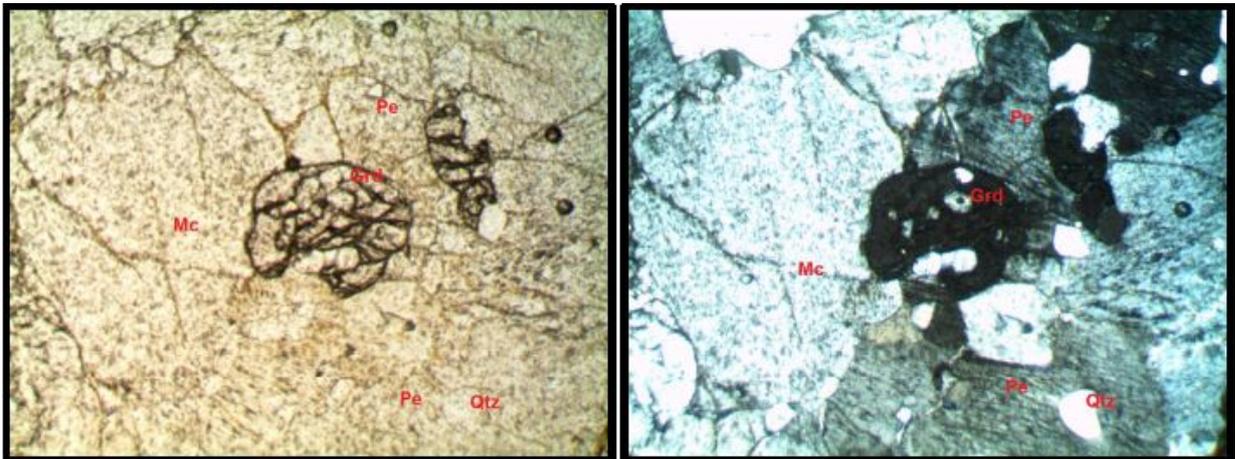
Figura 12 – Presença de quartzo (Qtz), feldspato (Fsp) e biotita (Bt). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.



Análises Laboratoriais, 2016

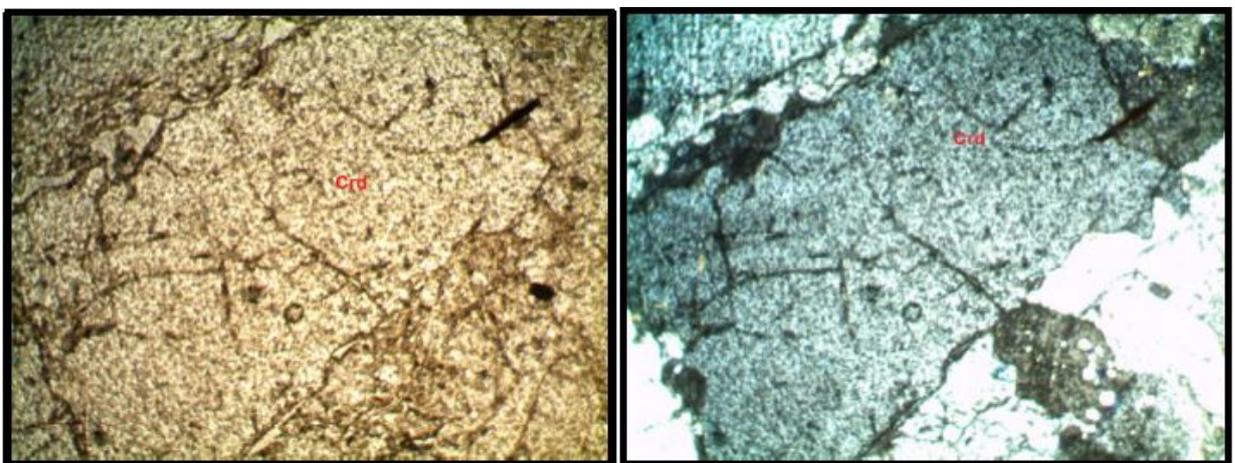
Presença de cristais de granada e cordierita, cristais euédricos de plagioclásio com comprimento entre 0,4 mm à 1,2 mm, geralmente com macla albita. Pertita e quartzo com extinção ondulante também se encontram assim como biotita provavelmente magnesiânica (pleocroísmo variando de vermelho forte a mais fraco) com comprimento entre 0,2 mm à 1 mm, por vezes alterada a clorita e distribuídas de forma aleatória. Somente uma química mineral poderia confirmar que o mineral é biotita ou inclusive flogopita. Sericita e calcita preenchendo fraturas.

Figura 13 – Detalhe da presença de granada (Grd). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.



Análises Laboratoriais, 2016

Figura 14 – Detalhe da presença de cordierita (Crd). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.



Análises Laboratoriais, 2016

7.2.2 Descrição das lâminas do rejeitos da empresa E2

As microfotografia das lâminas petrográficas do rejeitos da empresa E2 são representadas pelas pelas figuras 15 e 16.

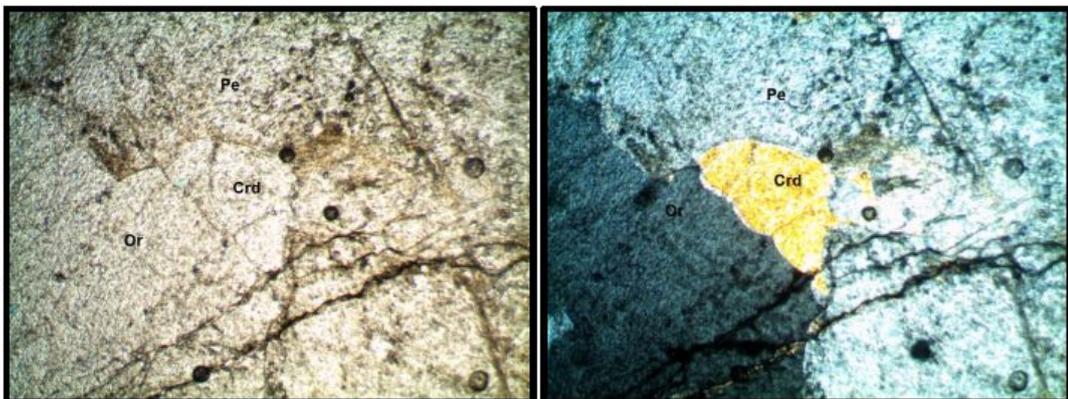
Na amostra encontram-se cristais de granada, cordierita e quartzo com extinção ondulante. Feldspato alcalino apresentando macla Carlsbad (ortoclásio) assim como microclínio (comprimento de 0,2 mm) e pertita, englobando cristais de biotita (0,4 a 0,7 mm), as quais se encontram por vezes alteradas a clorita. A biotita provavelmente seja rica em Mg, dada sua cor avermelhada. Plagioclásio (0,5 mm) com quartzo em seus entorno. Como minerais de alteração se tem sericita e calcita em fraturas e disseminadas.

Figura 15 – Microfotografia mostrando a presença de quartzo (Qtz), feldspato (Fsp) e biotita (Bt). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.



Análises Laboratoriais, 2016

Figura 16 – Microfotografia mostrando a presença de cordierita (Crd), pertita (Pe) e ortoclásio (Or). A direita, nicóis paralelos, a esquerda, nicóis cruzados. Aumento de 5 vezes.



Análises Laboratoriais, 2016

7.3 Peneiramento

Os resultados obtidos no peneiramento da amostra do material da empresa E1, de acordo com a NBR NM 242:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica, está descrito na tabela abaixo. A massas iniciais das amostras 1 (A1) e 2 (A2) foram de 6.179,00 g e 6.128,00 g, respectivamente.

7.3.1 Empresa E1 - Amostras 1 e 2

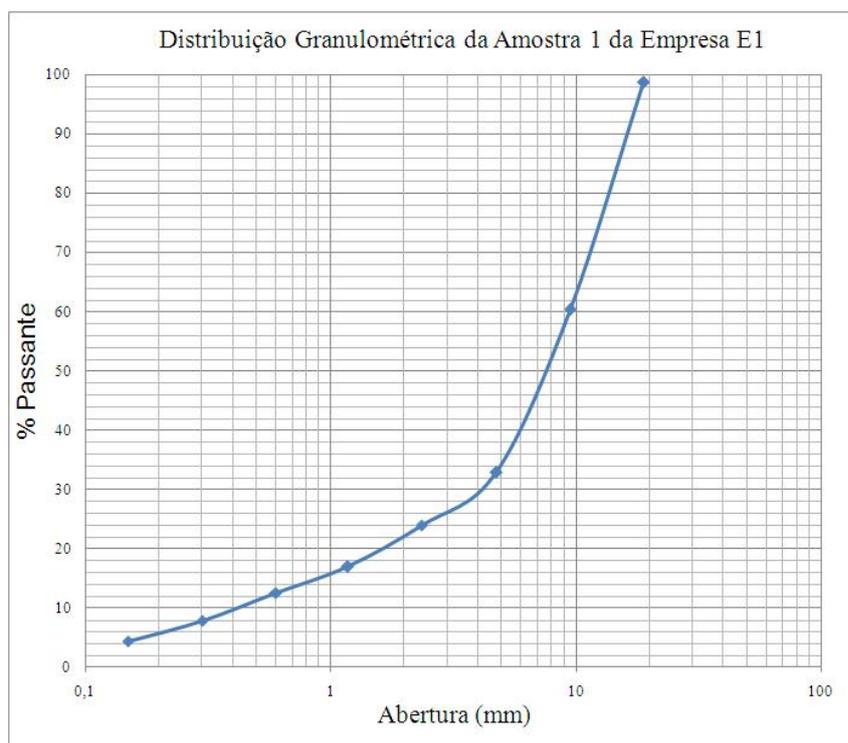
Tabela 2 – Distribuição Granulométrica das Amostras 1 e 2 da Empresa E1

Aber- tura (mm)	Massa (g)		% Retida		% Passante		%Retida Acumulada	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
19,00	83,00	98,10	1,34	1,60	98,66	98,40	1,34	1,60
9,50	2363,70	2451,70	38,32	40,02	60,34	58,38	39,66	41,62
4,75	1697,20	1868,60	27,52	30,50	32,82	27,88	67,18	72,12
2,36	547,50	560,40	8,89	9,15	23,93	18,73	76,07	81,97
1,18	431,20	387,97	6,99	6,33	16,94	12,40	83,06	87,60
0,60	273,65	214,71	4,45	3,50	12,49	8,90	87,51	91,10
0,30	288,93	206,79	4,68	3,27	7,81	5,53	92,19	94,47
0,15	211,38	143,41	3,43	2,34	4,39	2,19	95,62	96,81
< 0,15 (fundo)	271,08	193,92	4,39	3,19	0,00	0,00	100,00	100,00
TO- TAL	6.167,67	6.125,59	100,00	100,00	-	-	-	-

Fonte: Do Autor, 2015

A Figura 17 representa o gráfico da distribuição granulométrica da amostra A1.

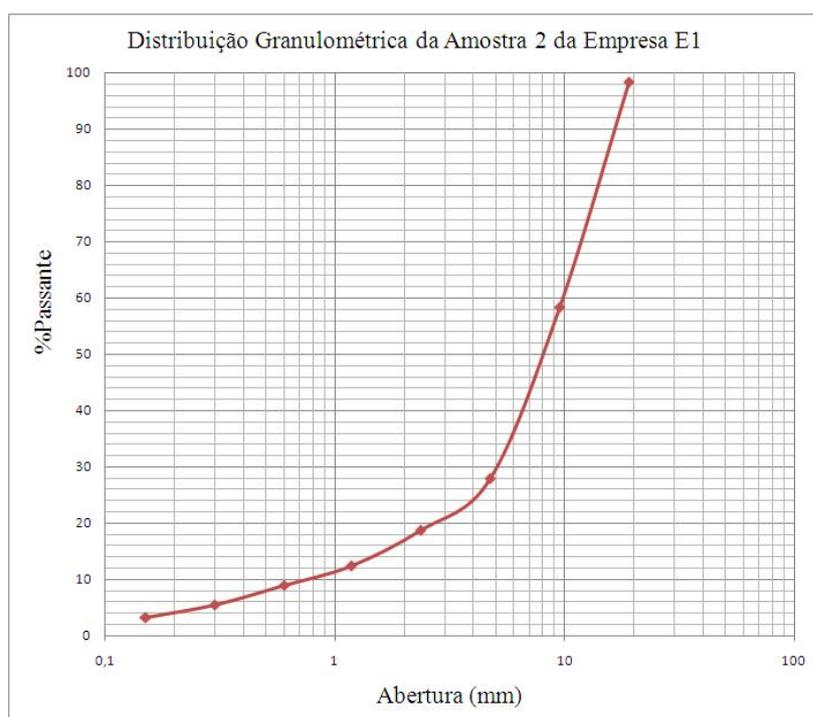
Figura 17 – Distribuição Granulométrica da Amostra 1 da Empresa E 1.



Fonte:Do autor,2016

A Figura 18 é do gráfico referente a distribuição granulométrica da amostra 2:

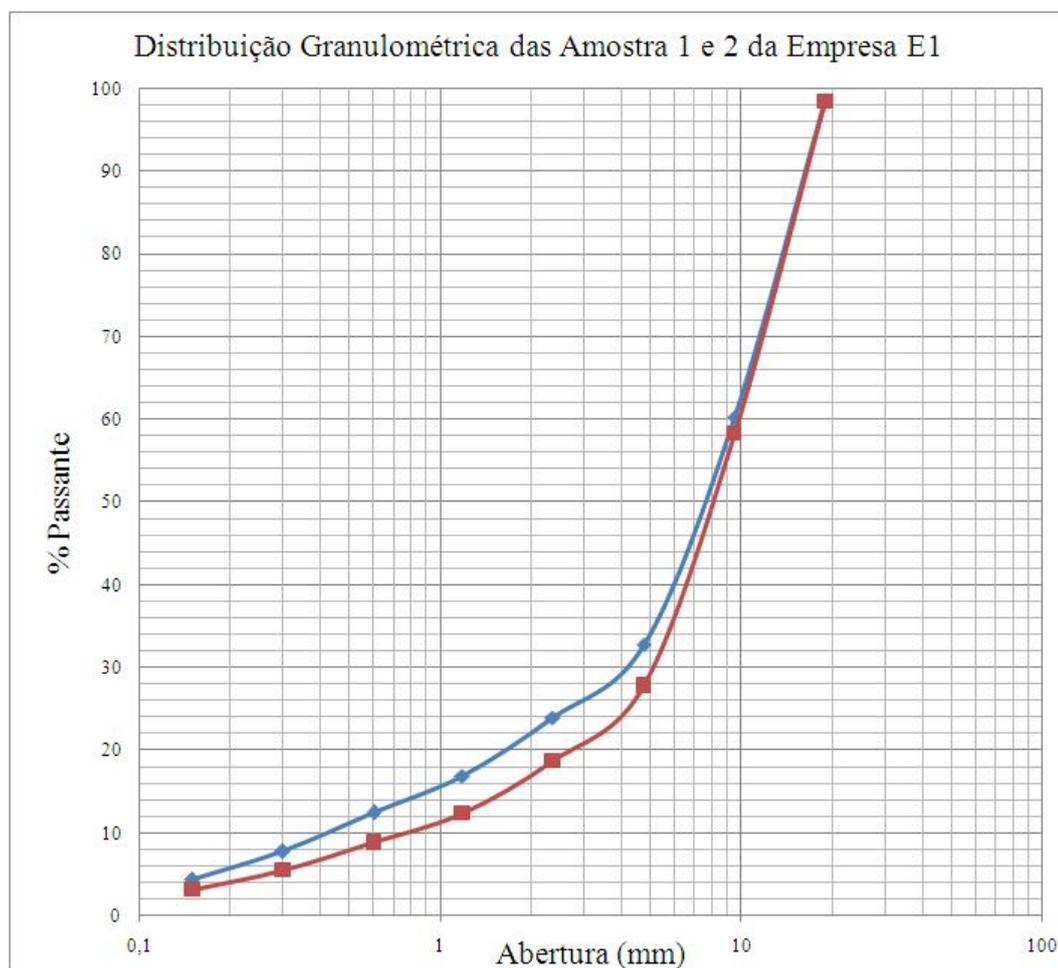
Figura 18 – Distribuição Granulométrica da Amostra 2 da Empresa E 1.



Fonte: Do autor, 2016

Então, foi feito o estudo comparativo da distribuição granulométrica entre as duas amostras da mesma empresa (Figura 19), onde o resultado foi o seguinte:

Figura 19 – Distribuição Granulométrica das Amostras 1 e 2 da Empresa E 1.



Fonte: Do autor, 2016.

7.3.2 Empresa E2 - Amostras 1 e 2

Para material da empresa E2, a massa inicial da amostra 1 (A1) foi de 5.415,90 g e a massa inicial da amostra 2 (A2) da empresa E 2 foi de 5.282,10 g. Os ensaios de peneiramento do rejeito da empresa E2 seguiram a mesma norma usada nos rejeitos da empresa E1 .

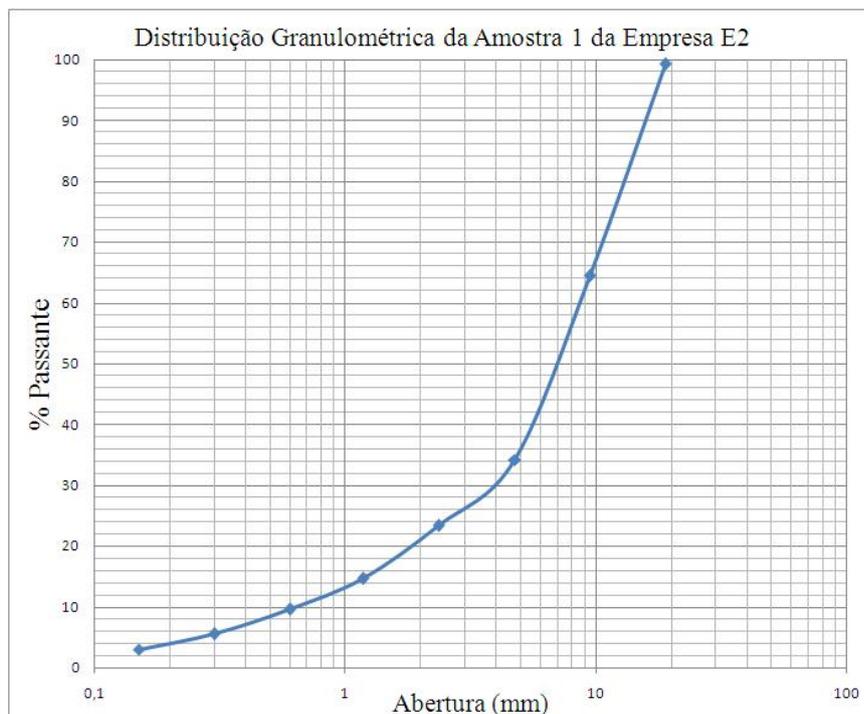
Tabela 3 – Distribuição Granulométrica das Amostras 1 e 2 da Empresa E 2.

Aber- tura (mm)	Massa (g)		% Retida		% Passante		% Retida Acumulada	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
19,00	40,16	34,14	0,74	0,65	99,26	99,35	0,74	0,65
9,50	1887,40	1700,00	34,85	32,19	64,41	67,16	35,59	32,84
4,75	1640,90	1486,40	30,30	28,15	34,11	39,01	65,89	60,99
2,36	584,30	592,30	10,80	11,22	23,31	27,79	76,69	72,22
1,18	470,26	495,32	8,69	9,38	14,62	18,41	85,38	81,59
0,60	273,33	312,93	5,04	5,93	9,58	12,48	90,42	87,52
0,30	220,98	271,73	4,08	5,14	5,50	7,34	94,50	92,66
0,15	136,22	182,70	2,52	3,46	2,98	3,88	97,02	96,12
< 0,15 (fundo)	161,46	205,01	2,98	3,88	0,00	0,00	100,00	100,00
TO- TAL	5.415,01	5.280,53	100,00	100,00	-	-	-	-

Fonte: Do autor, 2015.

Na Figura 20, o gráfico referente à distribuição granulométrica da Amostra 1.

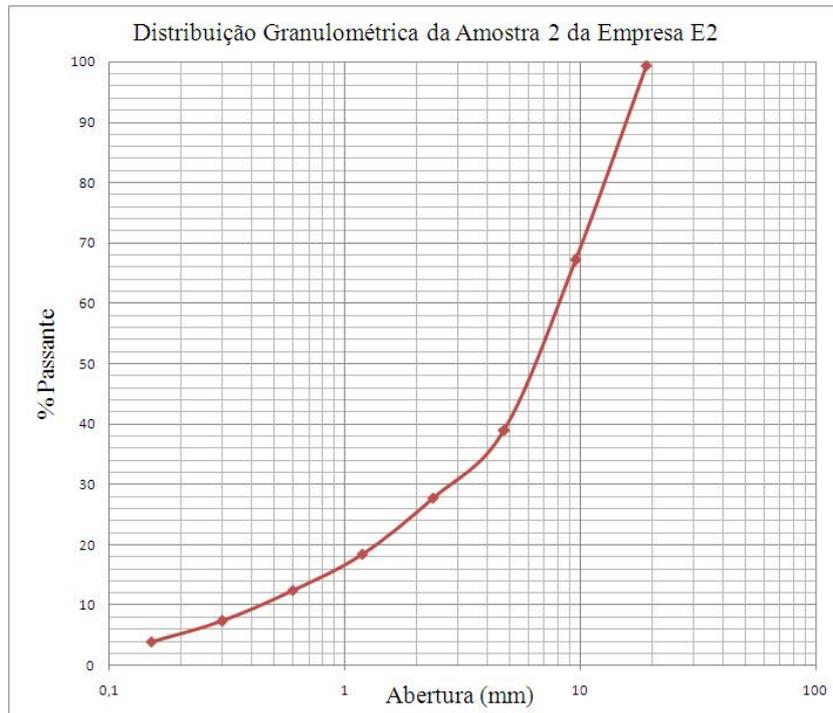
Figura 20 – Distribuição Granulométrica da Amostra 1 da Empresa E 2.



Fonte: Do autor, 2016.

Na Figura 21, o gráfico referente à distribuição granulométrica da amostra 2.

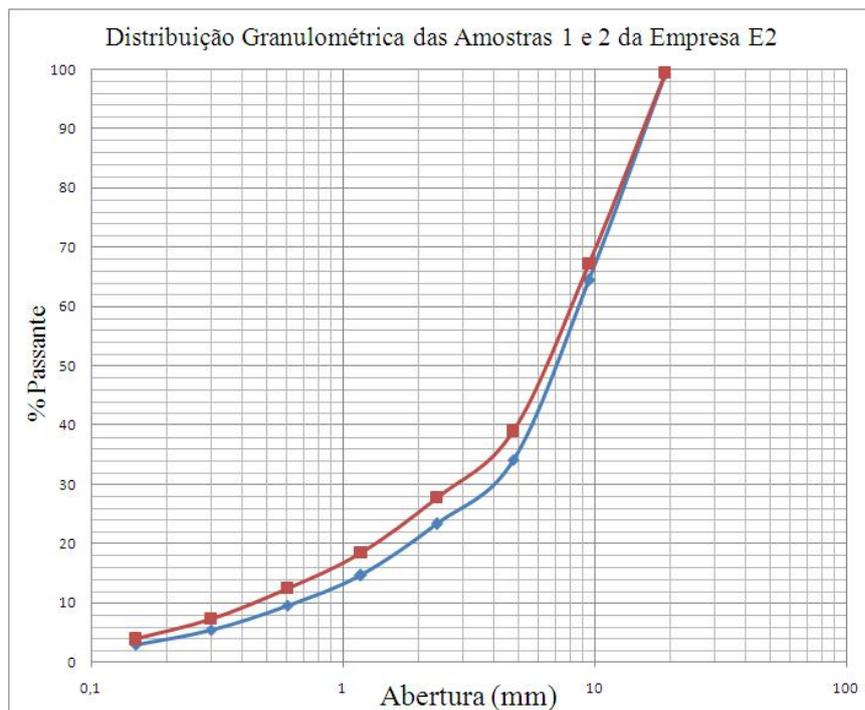
Figura 21 – Distribuição Granulométrica da Amostra 2 da Empresa E 2.



Fonte: Do autor, 2016

Comparou-se os resultados das distribuições das amostras da mesma empresa (Figura 22), chegando no resultado a seguir:

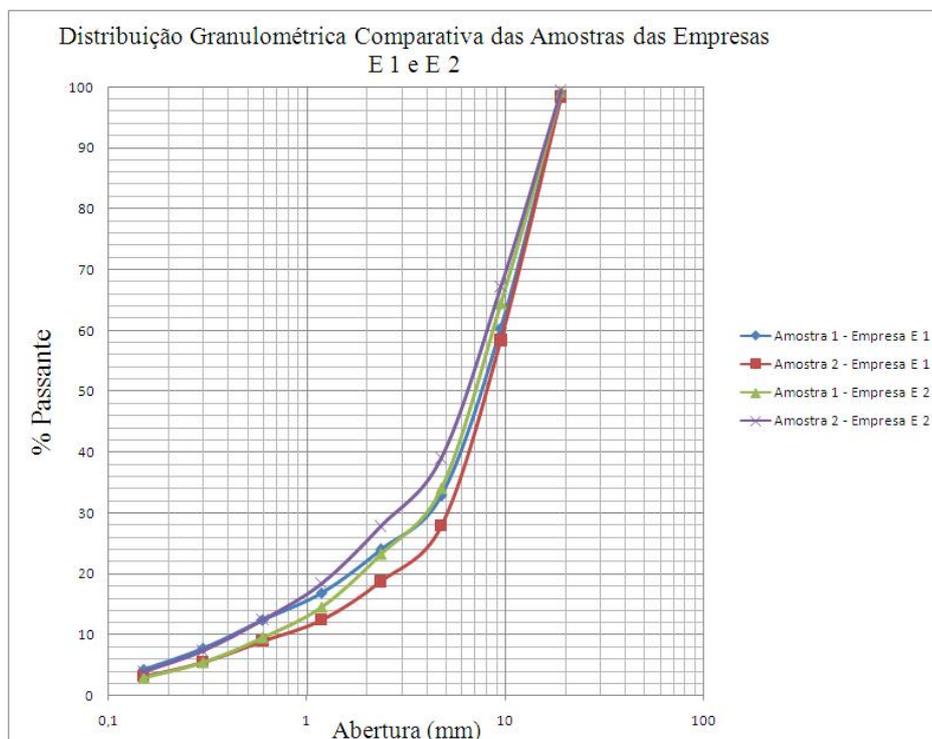
Figura 22 – Distribuição Granulométrica das Amostras 1 e 2 da Empresa E 2.



Fonte: Do autor, 2016

Foi elaborado um gráfico comparativo entre as 4 amostras das empresas E 1 e E 2 (Figura 23).

Figura 23 – Distribuição Granulométrica Comparativa entre as Amostras das Empresas E1 e E2.



Fonte: Do Autor, 2016

Pode-se concluir assim que ambos materiais se comportam de forma praticamente homogênea na sua distribuição granulométrica, principalmente nas faixas granulométricas entre 19 mm e 9,5 mm.

7.4 Abrasão Los Angeles

Os resultados do ensaio de abrasão Los Angeles estão descritos nas tabelas abaixo.

Tabela 4 – Resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles para as amostras da Empresa E1

Faixas Granulométricas (mm)	Massa da Amostra - "M" (g)	Massa Retida 1,7 mm - "M ₁ " (g)	Perda por Abrasão - "P" (%)
19,00 - 12,50	2501,20	562,20	77,52
12,50 - 9,50	2504,70	520,00	79,24
19,00 - 9,50	5000,00	2014,20	59,77

Fonte: Do autor, 2016

Tabela 5 – Resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles para as amostras da Empresa E2

Faixas Granulométricas (mm)	Massa da Amostra - “M” - (g)	Massa Retida 1,7 mm - “M ₁ ” - (g)	Perda por Abrasão - “P”- (%)
19,00 - 12,50	2504,50	742,20	70,37
12,50 - 9,50	2500,40	678,80	72,86
19,00 - 9,50	5000,00	2066,60	58,67

Fonte: Do autor,2016

De acordo com a norma ABNT NBR 7211:2009 , a perda por abrasão (P) aceita para agregados graúdos deve ser inferior à 50% em massa, porém devem ser levados em consideração composição mineralógica, estrutura da rocha e a aplicação final do agregado.

Para a brita comercial padrão, foi realizado o ensaio de abrasão Los Angeles para apenas uma faixa granulométrica, apresentando resultado satisfatório (Tabela 6).

Tabela 6 – Resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles de uma brita comercial da região

Faixas Granulométricas (mm)	Massa da Amostra - “M” - (g)	Massa Retida 1,7mm - “M ₁ ” - (g)	Perda por Abrasão - “P” - (%)
19,00 - 9,50	5001,40	3683,70	26,06

Fonte: Do autor;2016

Estes resultados podem não afetar negativamente a moldagem de corpos de prova para concreto.

7.5 Resistência ao Ataque de Solução de Sulfato de Sódio Anidro - Durabilidade

O ensaio de durabilidade de agregados geraram resultados bem expressivos nos exames quantitativos. Porém nos exames qualitativos apresentaram oxidação em ambos rejeitos estudados. Tal resultado está intrinsecamente ligado à composição mineralógica rejeitos estudados. Este ensaio visa simular ação intempérica nos agregados. O estudo do intemperismo é sempre muito complexo, pois envolve grande número de fases do sistema e exige um determinado tempo cronológico. Para se avaliar resultados de pesquisas sobre intemperismo, deve-se antes de tudo, considerar a metodologia utilizada e depois fazer afirmações acerca deste. Segundo o ensaio realizados por Goldich (1938) o ferro (Fe) presente nas rochas magmáticas se encontra principalmente na forma do íon Fe^{+2} . Durante o intemperismo essa forma se oxida, transformam-se em íon Fe^{+3} , explicando-se dessa maneira o aumento de Fe_2O_3 . Apesar de tratarmos de rejeitos provenientes de rochas metamórficas, os resultados encontrados foram idênticos.

7.5.1 Empresa E1 - Resultados Qualitativos

Os resultados qualitativos observados nas amostras da empresa E1, principalmente na faixa granulométrica entre 19,00mm e 9,50 mm foram fendilhamentos e oxidação do rejeitos. Na fração granulométrica de 19,00 mm houve oxidação bem branda e superficial, em comparação com a a fração granulométrica 9,50 mm, apresentado nas Figuras 24 e 25. Tal fato se explica pela presença em maior concentração de minerais como biotita e granada, na fração granulométrica 9,50 mm.

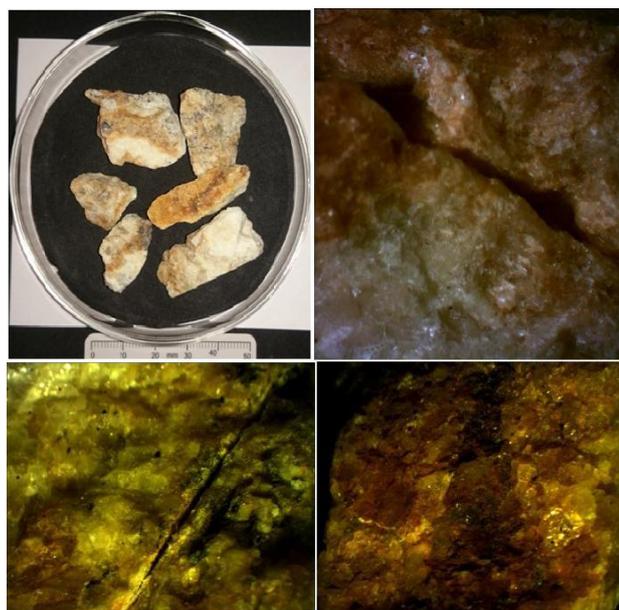
Figura 24 – Amostra da Empresa E1 - Granulemetria 19,00 mm



Fonte: do autor, 2016

A granulometria 9,5 mm, com detalhes de fendilhamento e ação mais presente da oxidação no agregado.

Figura 25 – Amostra da Empresa E1 - Granulometria 9,5 mm

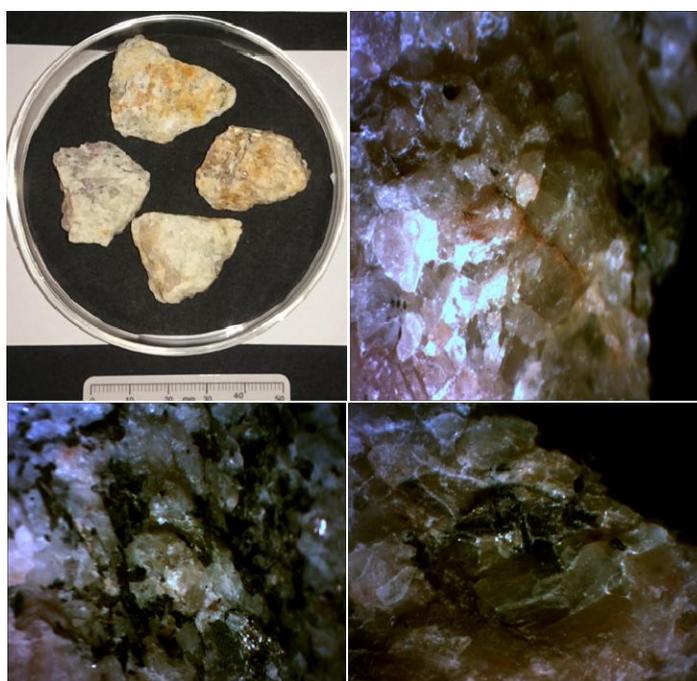


Fonte: Do autor, 2016

7.5.2 Empresa E2 - Resultados Qualitativos

Os resultados qualitativos verificados no rejeitos da empresa E2, na faixa granulométrica ente 19,00 mm e 9,50 mm, foram oxidação e fendilhamento. Há de se ressaltar que os resultados verificados nesta faixa granulométrica foram mais brandos, em comparação com as mesmas faixa granulométrica da empresa E1. Estes resultados devem-se ao fato do rejeito analisado desta empresa já apresentar a cor amarela predominantemente na sua matriz, sendo a alteração do íon Fe^{+2} para o íon Fe^{+3} presente nos minerais biotita e granada, que compõem a rocha. A Figura 26, representa os resultados qualitativos para granulometria 19,00 mm da empresa E2.

Figura 26 – Amostra da Empresa E2 - Granulometria 19,00 mm



Fonte: Do autor, 2016

Na Figura 27, pode-se verificar na granulometria 9,5 mm a ausência de de oxidação evidente ao redor dos minerais biotita e granada, diferentemente do ocorrido na mesma fração, da empresa E1.

Figura 27 – Amostra da Empresa E2 - Granulometria 9,5 mm



Fonte: Do autor, 2016.

7.5.3 Resultados Quantitativos - Empresas E1 e E2

Os resultados quantitativos para o ensaio de resistência ao ataque químico está diretamente ligado à perda de massa do agredado analisado.

Tabela 7 – Distribuição Granulométrica do Ensaio de Resistência ao Ataque Químico

Abertura (mm)	Massa Retida (g)		% Retida		% Passante	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2
+19,00	81,49	120,54	8,32	12,35	91,68	87,65
- 19,00 + 9,50	847,91	824,18	86,61	84,48	5,07	3,17
-9,50 + 4,80	42,92	25,46	4,38	2,62	0,69	0,55
Fundo	6,69	5,44	0,69	0,55	0,00	0,00
TOTAL	979,01	975,62	100	100	-	-

Fonte: Do autor,2016

Como resultado à resistência ao ataque químico por sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4), houve perda de massa das amostras analisadas. Para cada rejeitos estudado, inicialmente foram separadas amostras de 1000 g. Como resultado final, após secagem, as amostras ficaram com 979,01 g para o rejeitos da empresa E1 e 975,62 g para a amostra do rejeitos da empresa E2.

Tabela 8 – Resultado da perda de massa das amostras após resistência ao ataque químico

Empresas	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	% de perda de massa
E1	1000	979,01	2,09
E2	1000	975,62	2,44

Fonte:Do Autor,2016

Esses resultados de perda de massa estão dentro dos resultados definidos pela norma DNER-EM 037/97 - Agregado graúdo para concreto de cimento. O agregado submetido ao ensaio de durabilidade, conforme a DNER-ME 089/94, em cinco ciclos de imersão-secagem, com a solução de sulfato de sódio ou magnésio, não deve apresentar perda superior a 12%. Tal exigência pode ser dispensada para agregados destinados ao emprego em concretos para estruturas que não sejam expostas às intempéries.

7.6 Deteminação de massa específica, massa específica aparente, absorção de água massa unitária do agregado solto e massa unitário do agregado compactado

Os resultados foram os seguintes, para a brita comercial padrão

Tabela 9 – Resultados dos ensaios para brita comercial de referência

		Amostra A1	Amostra A2	Mé- dia
Massa Inicial (g)	M_i	3000,40	3000,30	-
Massa da Amostra Saturada Superfície Seca (g)	M_s	3014,40	3013,20	-
Massa da Amostra Saturada Superfície Seca Submersa (g)	M_a	2001,00	1999,20	-
Massa da Amostra Seca (g)	M	2998,60	2999,10	-
Massa Específica do Agregado Seco (g/cm ³)	μ	3,06	2,99	3,00
Massa Específica do Agregado Saturado Superfície Seca (g/cm ³)	μ_s	2,97	2,97	2,97
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	μ_a	2,95	2,95	2,95
Absorção de Água (%)	A	0,53	0,47	0,50

Ensaio laboratoriais,2016

Os resultados para os rejeitos das empresas E1 e E2 estão demonstrados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente:

Tabela 10 – Resultado dos ensaios para a empresa E1

		Amostra A1	Amostra A2	Mé- dia
Massa Inicial (g)	M_i	3000,60	3000,10	-
Massa da Amostra Saturada Superfície Seca (g)	M_s	3027,70	3028,30	-
Massa da Amostra Saturada Superfície Seca Submersa (g)	M_a	1870,40	1870,50	-
Massa da Amostra Seca (g)	M	2997,10	2996,60	-
Massa Específica do Agregado Seco (g/cm ³)	μ	2,65	2,65	2,65
Massa Específica do Agregado Saturado Superfície Seca (g/cm ³)	μ_s	2,62	2,62	2,62
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	μ_a	2,58	2,58	2,58
Absorção de Água (%)	A	1,02	1,06	1,04

Ensaio Laboratoriais, 2016

Tabela 11 – Resultado dos ensaios para a empresa E2

		Amostra A1	Amostra A2	Mé- dia
Massa Inicial (g)	M_i	3000,20	3000,10	-
Massa da Amostra Saturada Superfície Seca (g)	M_s	3020,60	3020,00	-
Massa da Amostra Saturada Superfície Seca Submersa (g)	M_a	2209,50	2210,40	-
Massa da Amostra Seca (g)	M	2995,50	2996,90	-
Massa Específica do Agregado Seco (g/cm ³)	μ	3,81	3,81	3,81
Massa Específica do Agregado Saturado Superfície Seca (g/cm ³)	μ_s	3,72	3,72	3,72
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	μ_a	3,70	3,70	3,70
Absorção de Água (%)	A	0,83	0,77	0,80

Ensaio Laboratoriais, 2016

Estes resultados demonstram que os rejeitos das empresas E1 e E2 apresentam características físicas bem distintas, podendo atribuir à composição mineralógica, porosidade, distribuição e tamanho dos grãos nas amostras analisadas. Cabe ressaltar que mineralogicamente ambas amostras são similares, assim, este parâmetro não tem nenhuma influência no diferente comportamento físico de ambas amostras.

Os valores de massa específica seca, massa específica saturada, massa específica aparente e absorção de água demonstram claramente isto.

Para a brita comercial de referência foram calculadas as massas unitárias do agregado solto e compactado. esses dados foram utilizados para elaborar o traço teórico, utilizado nos ensaios dos corpos de prova das empresas E1, E2 e brita comercial.

Na tabela 12, o resultado da massa unitária do agregado solto (γ). A massa do recipiente (M_r) foi de 6.330,00 g e o volume do recipiente (V_r) é de 10.130,00 cm³. No fim, usou-se um valor de massa unitária média (γ_m).

Tabela 12 – Massa unitária do agregado solto , da brita comercial padrão

Amostras	M_r (g)	M_{ra} (g)	γ (g/cm ³)
1	6.330,00	22.420,00	1,59
2	6.330,00	22.460,00	1,59
3	6.330,00	22.350,00	1,58
γ	-	-	1,59

Ensaio Laboratoriais, 2016

Na Tabela 13, o resultado da massa unitária do agregado compactado (γ_c). A massa do recipiente (M_r) foi de 6.330,00 g e o volume do recipiente (V_r) é de 10.130,00 cm³. No fim, usou-se um valor de massa unitária compactada média (γ_{cm}).

Tabela 13 – Massa unitária do agregado compactado, da brita comercial padrão

Amostras	M_r (g)	M_{ra} (g)	γ_c (g/cm ³)
1	6.330,00	23.180,00	1,67
2	6.330,00	23.300,00	1,67
3	6.330,00	23.290,00	1,67
γ_{cm}	-	-	1,67

Ensaio laboratoriais, 2016

7.7 Ensaio de compressão uniaxial em corpos de prova de concreto

Para este ensaio foi realizado um estudo experimental com uma brita comercial padrão. Amostra 1 (A1), com massa inicial de 6039,10 g e amostra 2 (A2) com massa inicial de 5575,30 g. A tabela 14 mostra a distribuição granulométrica da brita comercial de referência. Esta distribuição foi replicada para os rejeitos das empresas E1 e E2, como forma de se estabelecer um parâmetro comparativo.

Tabela 14 – Distribuição granulométrica da brita de referência

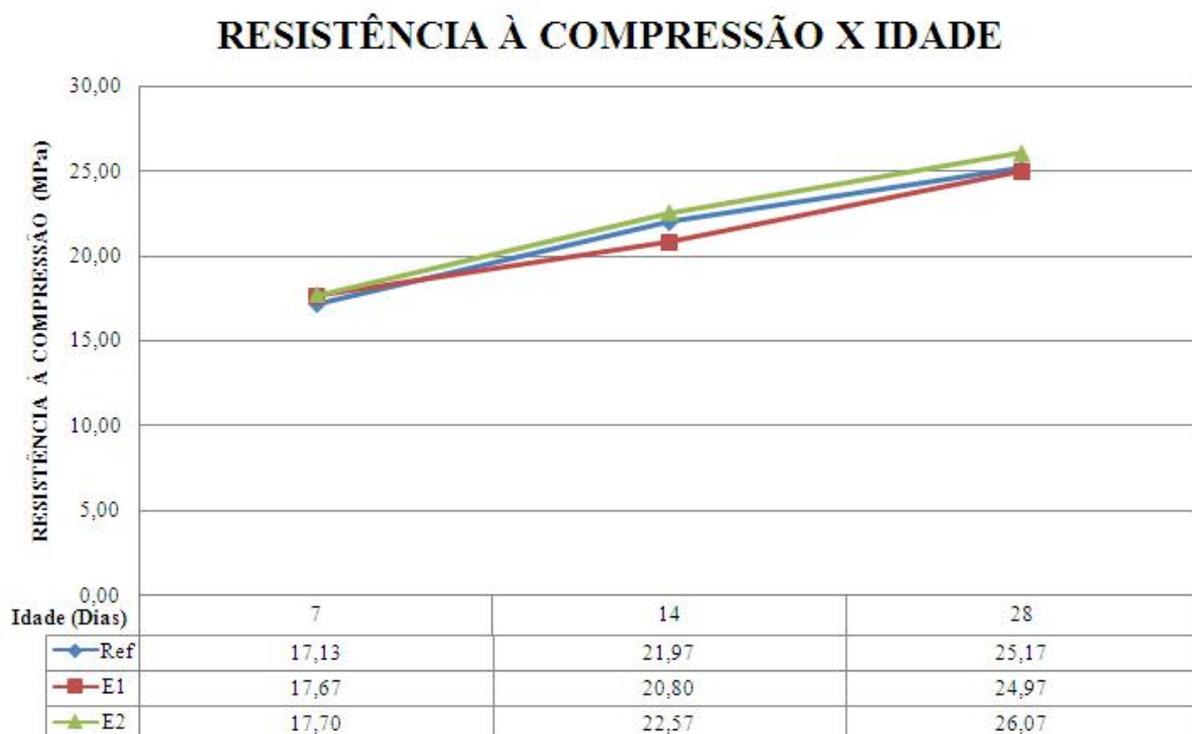
Abertura (mm)	Massa (g)		% Retida		% Passante		% Retida Acumulada	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A 2
	19,00	278,14	185,94	4,60	3,33	95,40	96,67	4,60
9,50	5442,30	5168,90	90,08	92,60	5,32	4,07	94,68	95,93
4,75	195,43	109,46	3,23	1,96	2,09	2,11	97,91	97,89
2,36	6,84	8,58	0,11	0,15	1,98	2,00	98,02	98,04
1,18	5,67	5,32	0,09	0,10	1,89	1,91	98,11	98,14
0,60	3,78	3,27	0,06	0,06	1,83	1,85	98,17	98,20
0,30	7,17	6,38	0,12	0,11	1,71	1,74	98,28	98,31
0,15	15,07	13,40	0,25	0,24	1,46	1,50	98,54	98,55
< 0,15	87,27	80,62	1,46	1,45	0,00	0,05	100,00	100,00
TOTAL	6.041,67	5.581,87	100,00	100,00	-	-	-	-

Análises Laboratoriais, 2016

O gráfico da Figura 28, representa a média entre valores de resistência à compressão uniaxial em relação à idade. Os rompimentos dos corpos de prova foram realizados com idade de sete, quatorze e vinte e oito dias.

Em valores absolutos, na idade de sete dias, os três rejeitos apresentam valores de resistência à compressão uniaxial bem próximos. Para idade de vinte e oito dias, o rejeito da empresa E2 apresentou resistência à compressão uniaxial maior que o rejeito da brita de referência.

Figura 28 – Gráfico comparativo representando a resistência à compressão uniaxial dos corpos de prova



Fonte: Ensaio Laboratoriais, 2016

8 Conclusões

- Mineralogicamente, ambas amostras possuem mineralogia similar, com presença de quartzo, mica preta tipo biotita rica em magnésio (Mg) ou flogopita, feldspato alcalino potássico e cordierita como minerais principais. Esta mineralogia esta de acordo com os resultados químicos obtidos. Conteúdo de sílica acima de 70%, baixo titânio (Ti), alto conteúdo de potássio (K), principalmente na amostra E2, determinação de alumínio (Al) em conteúdo suficiente para formar feldspato potássico, granada, cordierita.
- A presença de granada e biotita, que são dois minerais com ferro (Fe) e alumínio (Al) na sua estrutura, podem sugerir que estes rejeitos não podem ser utilizados para concreto, pois o ferro (Fe) presente se encontra em estado ferroso nos silicatos Fe^{+2} e sabemos que a química dos silicatos de ferro é um processo hidrolíticos, com o Fe^{+2} se transformando em Fe^{+3} , dando uma coloração entre amarelada e avermelhada devido à oxidação. Este processo é mais intenso nas granulometrias maiores.
- O britador utilizado nos ensaios foi de mandíbula com abertura de boca de 110 mm X 140 mm, em escala laboratorial. A boca deste britador tem tamanho reduzido, quebrando as partículas por compressão e com uma tendência a esmagar as partículas do agregado, gerando mais finos.
- Os ensaios de peneiramento demonstraram que 67,18% do rejeitos da empresa E1 72,12% do rejeitos da empresa E2 estão compreendidos entre a faixa granulométrica 19 mm a 4,75 mm, classificadas comercialmente como Brita 1.
- Os resultados do ensaio de abrasão Los Angeles não atenderam a norma ABNT NBR 7211:2009 que estabelece que a perda por abrasão tem que ser inferior à 50%. O agregado gerado pelo rejeitos da empresa E1 apresentou perda por abrasão de 59,77% e a brita gerada pelo agregado do rejeitos da empresa E2 apresentou perda de 58,67%.
- Os rejeitos das empresas E1 e E2 apresentaram oxidação quanto submetidos ao ataque de solução de sulfato de sódio anidro, sendo assim contra indicado para aplicação em pavimentação asfáltica. Esta oxidação está ligada à presença de minerais como a biotita, que contém ferro (Fe) na sua composição química.
- Tomando como base a brita comercial de referência, o ensaio de compressão uniaxial apresentou resultados satisfatórios, pois os rejeitos das empresas E1 e E2 apresentaram resultados idênticos ao da brita de referência.

9 Sugestões para trabalhos futuros

1. Estudo de mecânica de rochas para otimização da lavra de rochas ornamentais com a finalidade de aumentar a recuperação da lavra, diminuindo a deposição de rejeitos.
2. Estudar outros rejeitos da região utilizando a mesma metodologia, para mapear possibilidades de aproveitamento na construção civil. O objetivo é agregar valor ao rejeitos, promovendo o desenvolvimento da região.
3. Utilizar outros britadores para analisar os resultados, como forma do grão do agregado.
4. Realizar um estudo de viabilidade econômica deste produto, levando em consideração, distâncias e mercado consumidor.

10 Referências Bibliográficas

ABIROCHAS, Associação Brasileira de Rochas Ornamentais. **Situação mundial e posição brasileira no setor de rochas ornamentais em 2008**. Informe 18/2009. São Paulo, SP. 2009.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 7211 - Agregado para Concreto**. Rio de Janeiro, RJ, 2001. 5p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR NM 27 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro 2001.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Montevideú. Uruguai. 2009. 14p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR NM 242 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro 2003. 6p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR ABNT 15012 – Rochas para revestimento de edificações - Terminologia**. Rio de Janeiro 2013. 23p.

ACCHAR, W., Ramalho, E. G., Fonseca, Y. A., Hotza, D., Segadães, A. M. **Using granite rejects to aid densification and improve mechanical properties of alumina bodies**. Journal of Materials Science, v. 40, 2005 p. 3905 – 3909.

ACCHAR, W., Vieira, F. A., Hotza, D. **Effect of marble and granite sludge in clay materials**. Materials Science and Engineering, v. A419, 2006 p. 306 – 309.

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de et al. **Províncias estruturais brasileiras**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande, PB, 1977. p. 363-391.

ALMEIDA, S. L. M., Chaves, A. P., Leal Filho, L. S. **Aproveitamento de areia de finos de pedreiras brasileiras para uso em construção civil**. Em: Calvo, B., Maya, M., Parra, J. L. Primeras Jornadas Iberoamericanas sobre “Caracterización y Normalización de Materiales de Construcción”. Programa CYTED. Madrid. 2001.

BUDNY, J. et al. **Estudo comparativo das propriedades de agregados graúdos**. XXVI Congresso Regional de Iniciação Científica & Tecnologia em Engenharia. Alegrete RS, 2014.

CAJATY et al. Rochas Ornamentais do Ceará – **Aproveitamento de Rejeitos da Pedreira Asa Branca em Santa Quitéria – CE**, p. 101 – 106 dos Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais/ II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste,

novembro/dezembro 2001, Salvador – Editado pelo CETEM/CBPM, Rio de Janeiro,RJ, 2002.

CAJATY, A. A. ; NETO, J. A. N. **Aproveitamento de Rejeitos em forma de Bloquetes da Pedreira Asa Branca Santa Quitéria – Ce**, p. 329 – 340 do Livro Rochas Industriais: Pesquisas geológicas, exploração, beneficiamento e impactos ambientais, edição Livro Técnico, Fortaleza,CE, 2003.

CAMPOS, R.A de. et al. **Tratamento e aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais de revestimento, visando mitigação de impactos ambientais**. Anais do XXIII Simpósio Geologia do Nordeste; VII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Fortaleza: CETEM/MCT, 2009. 192 p.

CASTRO, N.F. et al. **Aproveitamento de Estéreis Grossos Oriundos de Lavra de Rochas Ornamentais do Espírito Santo em Pavimentos Asfálticos**. Anais da IV Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral, **Anuário Mineral Estadual - Espírito Santo**. Brasília,DF, 2016. Disponível em:<http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em 18 jul. de 2016.

DUTRA, R., **Rochas ornamentais – Feldspato e quartzo**. 2^o encontro de engenharia e tecnologia de Campos Gerais, Ponta Grossa, PR 14 a 18 de agosto de 2006.

FRANKLIN JÚNIOR, I. **Estudo tecnológico em rejeitos de quartzito do Sudoeste de Minas Gerais para utilização como agregado graúdo no concreto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG,2009. 142p.

GOLDICH. S. S. **A Study of Roch Weathering**. J. Cool. Ed. 46°. 1938. p.17-58.

MENDES, J. C., Jordt-Evangelista, H. **Rochas ornamentais do estado de Minas Gerais, Brasil**. Anais do 10^o Congresso Latino americano de Geologia, Buenos Aires, 1998.

MEURER, P. et al. **Caracterização de Materiais Rochosos do Norte de Santa Catarina para fins de Aplicação em Obras de Pavimentação**. XVIII Encontro de Nacional de Conservação Rodoviária, Foz do Iguaçu, PR , 18 a 21 de agosto de 2015.

RUSSO, M.L.C.**Reciclagem de rejeitos gerado na extração de quartzito**. Tese de doutorado, UFMG, Belo Horizonte MG, 2011.174p.

SABOYA Jr., F., Xavier, G. C., Alexandre, J. **The use of the powder marble**

byproduct to enhance the properties of brick ceramic. Construction and Building Materials, v. 21, 2007.p. 1950-1960.

SARDOU Filho R. et. al. **Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo – Escala 1:400.000.** Brasília DF, CPRM. 2013. ISBN: 978-85-7499-189-4.

SILVA, D. C. ; VIDAL, F. W. H. **Aproveitamento Econômico de Rejeitos de Lavra de Granitos nas Pedreiras: Rosa Iracema e Vermelho Filomena,** p. 341 – 360 do Livro Rochas Industriais: pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais, Edição Livro Técnico, Fortaleza,CE, 2003.

SILVA, J. B., HOTZA, D., SEGADÃES, A. M., ACCHAR, W. **Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas.** 2005 v. 51, p. 325-330.

SINDIROCHAS - Sindicato das indústrias de rochas ornamentais, cal e Calcário do estado do Espírito Santo. **Relatório de ações 2008.** Vitória. Espírito Santo. 2009.15p.

SOARES, Antonio Carlos Pedrosa et al. **The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. Precambrian Research,** Amsterdam, v. 110, n.1-4, p. 307-323, 2001.

SOARES, Antonio Carlos Pedrosa et al. **Mantena-SE.24-Y-A-VI, escala 1:100.000: nota explicativa.** Minas Gerais/Espírito Santo: UFMG/CPRM, 2007.

VIDAL, F. W. H. **Aproveitamento de Rejeitos de Rochas Ornamentais e de Revestimentos,** p.221-229, Anais do IV Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza, 2003.

VIEIRA, C. M. F., Monteiro, S. N., Barreto, C. G. W., de Carvalho, E. A., Peiter, C. C. **Substituição de areia de quartzo por finos de gnaiss em massa cerâmica para telhas: Teste industrial.** Cerâmica, v. 54, p. 480-486, Campos dos Goitacazes, RJ, 2008.

XAVIER, G. C., Saboya, F., Maia, P. C. A., Alexandre, J. **Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com rejeitos de granito.** 2009, v. 55, p.1-10.

Apêndices

