

**FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ADRIEL MARTINS DA SILVA
KEINA DALILA DOS SANTOS
LUAN REGIO PESTANA
LUÍS RAMON SILVA FERREIRA**

**ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE LAMA ABRASIVA
PROVENIENTE DO CORTE DE GRANITO NA PRODUÇÃO DE
CERÂMICA VERMELHA**

**ARACRUZ
2017**

ADRIEL MARTINS DA SILVA
KEINA DALILA DOS SANTOS
LUAN REGIO PESTANA
LUÍS RAMON SILVA FERREIRA

**ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE LAMA ABRASIVA
PROVENIENTE DO CORTE DE GRANITO NA PRODUÇÃO DE
CERÂMICA VERMELHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Engenharia Química das
Faculdades Integradas de Aracruz, como requisito
parcial para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Química.

Orientador: Prof.MSc.Faiçal Gazel

ARACRUZ
2017

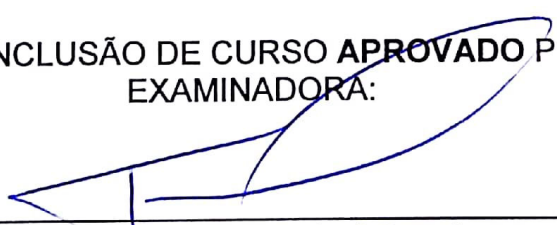
FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ FAACZ
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Autorização: Portaria MEC nº 2598 de 06/12/2001
Renovação de Reconhecimento: Portaria nº 304 de 02/08/2011

ADRIEL MARTINS DA SILVA
KEINA DALILA DOS SANTOS
LUAN REGIO PESTANA
LUÍS RAMON SILVA FERREIRA

**ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE LAMA ABRASIVA
PROVENIENTE DO CORTE DE GRANITO NA PRODUÇÃO DE
CERÂMICA VERMELHA**

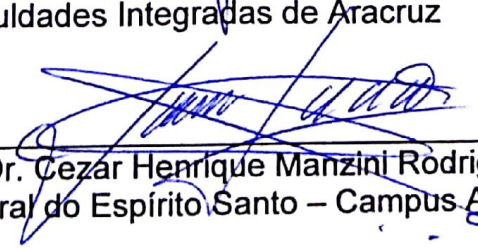
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO **APROVADO** PELA COMISSÃO
EXAMINADORA:



Professor MSc. Faíçal Gazel
Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador



Professor MSc. George Scarpato Giacomini
Faculdades Integradas de Aracruz



Professor Dr. Cezar Henrique Manzini Rodrigues
Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Aracruz

Aracruz
2017

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Por todo o amor e cuidado direcionados às nossas vidas.

Aos pais,

Por todas as orações realizadas e apoio oferecido, por entender nossas ausências e permanecerem ao nosso lado nos momentos de dificuldades.

Aos familiares e amigos,

Pelos momentos de alegria e por terem acompanhado nosso processo de crescimento.

Aos respectivos namorados,

Pelo carinho, paciência, cumplicidade e atenção dedicada em todos os momentos.

Aos mestres,

Por todos os ensinamentos ofertados.

Aos que colaboraram diretamente para a execução do trabalho: Klayton (Faacz), Leonídio e César (Ifes), Walber e Patrick (SENAI) e Edinilson (Argil),

Pelo apoio fundamental à execução do trabalho, serão sempre lembrados.

A todos que direta ou indiretamente influenciaram nossos resultados nessa caminhada,

Sempre lembraremos com carinho o apoio.

EPÍGRAFE

“...E também nos gloriamos nas tribulações; sabendo que a tribulação produz a paciência, e a paciência a experiência, e a experiência a esperança. E a esperança não traz confusão, porquanto o amor de Deus está derramado em nossos corações pelo Espírito Santo que nos foi dado”

Romanos 5:3-5

RESUMO

Uma consequência da expansão da indústria é o aumento da quantidade de resíduos gerados. Dentre os principais geradores, pode-se citar a indústria civil, que engloba a constante produção de materiais cerâmicos e outros, e a indústria de rochas ornamentais, setor muito forte no Espírito Santo. Nesse contexto, torna-se contínuo a busca de alternativas que visam reduzir a quantidade de resíduos gerados, ou formas de reaproveitamento que minimizarão os impactos causados pela disposição inadequada do material no meio ambiente. Diante desse cenário, foi analisada a incorporação da lama abrasiva, gerada pelo corte das pedras de granito por teares diamantados e cedida por uma empresa situada em João Neiva/ES, na confecção de corpos de provas cerâmicos de 0, 10 e 20% em massa de resíduo, queimados a temperaturas de 1000° e 1100°C. Os materiais confeccionados foram submetidos a testes de absorção, retração linear, perda ao fogo e ensaio de ruptura à flexão; os dados obtidos expressam resultados significativamente promissores para possível aplicação comercial. Nos testes de ruptura à flexão e nos ensaios de absorção, obteve-se um aumento na resistência do material e uma redução na absorção, conforme o aumento do percentual de resíduo, sendo que a temperatura de 1100°C expressou os melhores resultados enquadrando-se em todas normativas exigidas.

Palavras-chave: Resíduos. Rochas ornamentais. Meio ambiente. Ensaio.

ABSTRACT

One consequence of industry expansion is the increase in the amount of waste generated. Among the main generators, we can mention the civil industry, which includes a constant production of ceramics and other materials, and the ornamental rock industry, significant in Espírito Santo sector. In this context, it is needed a continuous search for alternatives that seek to reduce the amount of waste generated, or ways of reutilization that minimize the impacts caused by improper disposal of the material in the environment. In this scenario, an analysis of the abrasive sludge incorporation, frosted by cutting the granite stones by adamantine thread and yielded by a company located in João Neiva/ES, was carried out in the preparation of ceramic specimen of 0, 10 and 20% by mass of residue, burned at temperatures of 1000° and 1100°C. The prepared materials were submitted to absorption, linear retraction, fire loss and flexural rupture tests, when compared to the values established by regulatory standards, they practically presented promising results for commercial application. In the flexural rupture test and in the absorption test, an increase in the resistance of the material and a reduction in the absorption were obtained, the percentage of residue increased, and the temperature of 1100 ° C expressed the best results in all the regulations required.

Keywords: Residue. Ornamental rock. Environment. Tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de produção de rochas ornamentais.	5
Figura 2: Tear de mármore.....	6
Figura 3: Tear de fios diamantados.....	7
Figura 4: Resíduos gerados no beneficiamento do granito.	8
Figura 5: Fluxograma do processo produtivo da indústria de cerâmica vermelha.....	19
Figura 6: Esquema adotado para realização do trabalho.	22
Figura 7: Fôrma (a) e prensa (b) utilizadas na conformação.	24
Figura 8: Forno Mufla VULCAN 3-550PD contendo o material antes (a) e depois da queima (b).	25
Figura 9: Máquina Universal de Ensaio Mecânico EMIC-GR044	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultados do teste de Retração Linear à Queima.....	30
Gráfico 2: Resultados do teste de Perda ao Fogo	32
Gráfico 3: Resultados do ensaio de Tensão de Ruptura à Flexão	33
Gráfico 4: Resultados do teste de Absorção	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição do resíduo no desdobramento do granito utilizando granalha	11
Tabela 2: Composição química do resíduo sem granalha.....	11
Tabela 3: Composição química da argila	15
Tabela 4: Propriedades dos principais produtos de cerâmicas vermelhas	21
Tabela 5: Proporções de argila e lama adotada no trabalho	23
Tabela 6: Composição dos materiais	28
Tabela 7: Resultados do teste de Retração Linear à Queima.....	29
Tabela 8: Resultados do teste de Perda ao Fogo	31
Tabela 9: Resultados do ensaio de Tensão de Ruptura à Flexão	32
Tabela 10: Resultado do teste de Absorção	34

LISTA DE SIGLAS

ABDI: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABNT: Agência Nacional de Normas Técnicas

ANFACER: Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica

DEPEC: Departamento de Pesquisa e Estudos Econômicos

ES: Espírito Santo

FAACZ: Faculdades Integradas de Aracruz

FEAM: Fundação Estadual do Meio Ambiente

FIEMG: Federação das Indústrias de Cerâmica

IEMA: Instituto Estadual de Meio Ambiente

ISO: Organização Internacional de Normalização

MEV: Microscópio Eletrônico de Varredura

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

PF: Perda ao Fogo

PIB: Produto Interno Bruto

RLQ: Retração linear à Queima

TRF: Tensão de Ruptura à Flexão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
3.1. PROCESSO PRODUTIVO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS.....	5
3.1.1. Resíduos Gerados no Beneficiamento das Rochas	7
3.1.2. Composição Química do Resíduo Gerado na Etapa de Desdobramento .	10
3.2. LEGISLAÇÃO E MEIO AMBIENTE.....	12
3.3. PANORAMA DOS MATERIAIS CERÂMICOS	14
3.3.1. Composição Química das Argilas.....	14
3.3.2. Tipos de Argilas e Propriedades.....	16
3.3.3. Tipos de Cerâmicas.....	18
3.3.4. Processo de produção de cerâmica	18
3.3.5. Propriedades das Cerâmicas	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1. ANÁLISE DO MATERIAL.....	22
4.2. CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	23
4.2.1. Preparo das misturas.....	23
4.2.2. Conformação	23
4.2.3. Secagem.....	24
4.2.4. Queima	24
4.3. ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS	25
4.3.1. Retração Linear de Queima (RLQ)	26
4.3.2. Perda ao Fogo (PF).....	26
4.3.3. Tensão de Ruptura à flexão (TRF)	26
4.3.4. Índice de Absorção d'água:.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28

5.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA	28
5.2. RETRAÇÃO LINEAR À QUEIMA (RLQ)	29
5.3. PERDA AO FOGO (PF)	31
5.4. TENSÃO DE RUPTURA À FLEXÃO (TRF)	32
5.5. ÍNDICE DE ABSORÇÃO D' ÁGUA.....	34
6. CONCLUSÃO	37
7. REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

No setor industrial, o reaproveitamento dos materiais residuais disponíveis possibilita uma substituição de parte da matéria-prima usual e, conseqüentemente, uma amplificação das margens de lucros é capaz de satisfazer a necessidade de descarte desse material, na maioria das vezes problemático.

Estudos recentes apontam que a construção civil representou 5,4% do PIB brasileiro em 2013, podendo ainda chegar a 11,3 % se for considerado a produção de material de construção, onde se destaca a região sudeste, responsável por 51% desse valor. Outro aspecto levantado por este estudo é o quanto o setor tem sofrido instabilidades, e inovações apresentam-se como reais possibilidades de alavancar o setor da posição em que se encontra (CONSTRUÇÃO CIVIL. DEPEC, 2017).

No ramo das rochas ornamentais, o Brasil é considerado um dos maiores produtores, com destaque no Espírito Santo (ES). Entretanto, a gigantesca geração de resíduos é um complexante do processo, a perda de matéria-prima pode atingir até 83% da produção, sendo que um metro cúbico de rocha serrada gera aproximadamente 2,2 toneladas de lama (CAMPOS *et al.*, 2014). A disposição inadequada deste resíduo pode afetar o meio ambiente de forma geral, principalmente a potabilidade da água em córregos, rios e lagoas, comprometendo a vida dos animais e da população que fazem uso destes mananciais (ZEPEDA, 2011).

Outro importante ramo da construção civil é a produção de cerâmica vermelha, com sua coloração peculiar avermelhada que se deve à presença de óxidos ferrosos provenientes da argila, a matéria-prima comumente utilizada. A cerâmica vermelha engloba materiais de construção, como blocos de vedação, blocos estruturais, telhas, lajotas, manilhas, tijolos, tubos, entre outros elementos; produtos de uso doméstico e ainda possui participação na produção de materiais de decoração.

Cada um dos setores, marmoraria e produção de cerâmica vermelha, separadamente, apresentam uma grande representatividade da indústria civil. A possibilidade de somar esses dois processos em cadeia, incorporando os resíduos de mármore ao material para a produção de cerâmica vermelha, apresenta uma

participação ainda mais expressiva e vantajosa, visto que o primeiro setor teria uma solução para o descarte de resíduos, enquanto o segundo setor teria uma matéria-prima mais acessível e barata.

Nesse contexto, o reaproveitamento deste resíduo na confecção de outros produtos visa reduzir os impactos ambientais produzidos pela lama residual do setor industrial e obter benefícios econômicos e ambientais. A confecção de cerâmica vermelha é uma solução que se apresenta viável ao destino da lama abrasiva. Para tanto, é necessário que o produto apresente um comportamento dentro dos padrões estabelecidos pelas normas regulamentadoras, a partir dos requisitos e métodos de ensaio do material, os quais levam em consideração a fabricação, dimensão, geometria e aspectos físicos, além de compreender também a permeabilidade, absorção da água e determinação da carga de ruptura à flexão.

Dessa forma, o presente trabalho pretende analisar a incorporação de lama abrasiva à matéria-prima usual necessária à produção de cerâmica vermelha, de maneira a oferecer uma alternativa de reaproveitamento deste resíduo. Para tal, faz-se necessário avaliar se os produtos obtidos atenderão aos requisitos estabelecidos pelas normas brasileiras, assim como a proporção ideal do material residual que deverá ser incorporado para alcançar as propriedades necessárias do material.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o reaproveitamento da lama abrasiva na produção de cerâmica vermelha, visando reduzir os impactos do descarte deste rejeito.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um levantamento de estudos sobre reaproveitamento de resíduos em materiais cerâmicos;
- Adquirir conhecimento químico sobre os materiais argilosos e suas propriedades, bem como sua granulometria e a do resíduo em questão;
- Confeccionar corpos de prova de cerâmica vermelha, incorporando a lama abrasiva nas proporções de 0, 10 e 20% em massas argilosas provenientes de uma empresa;
- Avaliar a influência da temperatura de queima, submetendo as amostras a patamares de 1000 e 1100°C;
- Submeter as amostras a testes de absorção, retração linear, perda ao fogo e ruptura a flexão;
- Verificar se os corpos de provas atendem os requisitos das Normas Regulamentadoras.

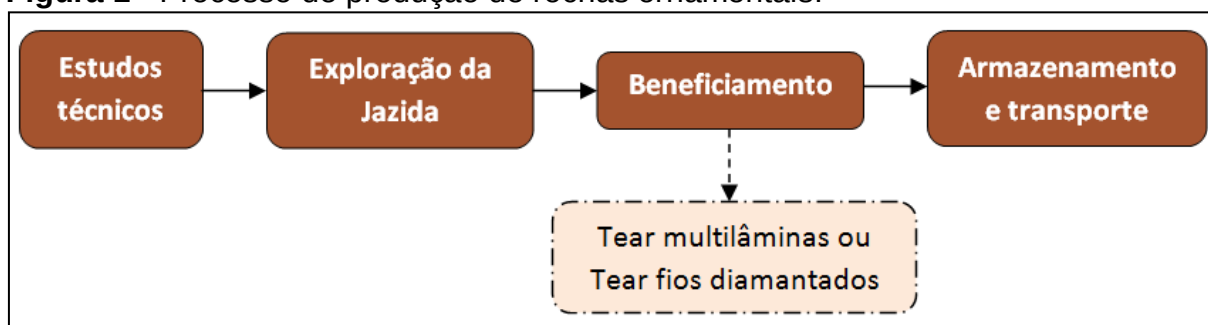
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. PROCESSO PRODUTIVO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

O Brasil teve um grande desenvolvimento no consumo de rochas ornamentais saindo da 12ª posição em 2001 para ocupar a 4ª posição em 2014. Sendo que a grande variedade de rochas naturais e os investimentos realizados nos parques indústrias foram os principais fatores para este crescimento (FOLHA VITÓRIA, 2015). Esse desenvolvimento resultou aproximadamente 120 mil empregos diretos e 360 mil indiretos em 2012 (FILHO e KISTEMANN, 2014).

A região sudeste tem a maior contribuição na produção desse setor, com destaque para o Espírito Santo que representa cerca de 75% do volume físico e 81% do total de faturamento das exportações brasileiras (FILHO, 2017). Além disso, o ramo de rochas ornamentais tem uma contribuição expressiva na economia capixaba, representando em torno de 10% do PIB do estado, tornando-se necessário um aprofundamento no processo desse produto (LYRA, 2016), que pode ser expresso resumidamente em um fluxograma como na **Figura 1**.

Figura 1 - Processo de produção de rochas ornamentais.



Fonte: Acervo do autor.

O processo produtivo inicia-se com a realização de estudos técnicos sobre a área a ser explorada visando conhecer as características do solo, levando em consideração alguns critérios como a condição geológica do local, propriedades físico-químicas e a viabilidade para ter uma exploração mais eficaz e menor dano ao meio ambiente (GIACONI, 1998).

A exploração das jazidas é a etapa onde acontece o desmatamento da área a ser explorada, seguida do beneficiamento das rochas que consiste no desdobramento

dos materiais brutos realizado em serrarias que possuem teares. Esses equipamentos são responsáveis por serrar e definir as espessuras dos blocos extraídos (SOUZA, 2007).

Um dos teares utilizado é o tear tradicional que é composto por quatro colunas que sustentam um quadro onde é adicionado o bloco (DOMINGUES, BOSON e ALÍPAZ, 2006); esse realiza um movimento pendular, favorecendo a penetração das lâminas no bloco como pode ser visto na **Figura 2**. Neste tear é usada uma lama abrasiva constituída de água, pó de pedra, cal e granalha (VIDAL, AZEVEDO e CASTRO, 2014).

Figura 2 - Tear de mármore.



Fonte: GASPARI MENOTTI, (2015).

Outro modelo utilizado é o tear com fios diamantado, o qual efetua o corte de rochas através da ação abrasiva de segmentos ou pastilhas de diamantes incrustados no gume inferior das lâminas conforme **Figura 3**, formando uma espécie de serra acionada em um movimento de vaivém e da descida do quadro porta-lâminas sobre o bloco (ou subida do carro porta-bloco nos teares mais moderno). Para este tear é utilizado apenas água para resfriamento dos fios, e o resíduo gerado é uma lama formada pela água e o pó de pedra produzido pelo desgaste do bloco (VIDAL, AZEVEDO e CASTRO, 2014). Devido às vantagens ambientais e econômicas desse modelo, estima-se que os teares multifio diamantado poderão representar 80% das serragens de chapas em 2020 (FILHO e KISTEMANN, 2014).

Figura 3 - Tear de fios diamantados.



Fonte: FEAM, (2015).

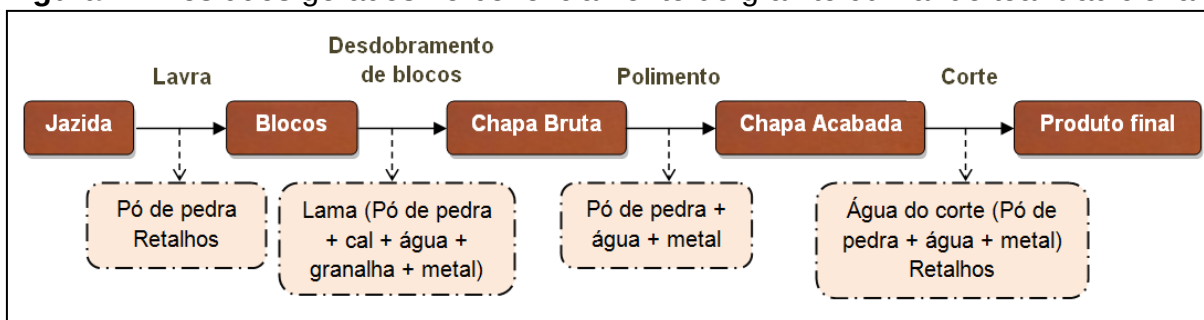
O beneficiamento final se expressa no polimento e na lustração das placas obtidas após a serragem. O polimento irá realizar o fechamento dos grãos minerais, com sucessivas aplicações de politrizes tendo função de abrasivos resultando uma superfície lisa e opaca, enquanto a lustração tem por finalidade evidenciar as propriedades de textura e cor da rocha, além de obter uma superfície espelhada (VIDAL, 1995). Terminada a etapa do beneficiamento final as placas são armazenadas em um pátio para posteriormente serem transportadas.

3.1.1. Resíduos Gerados no Beneficiamento das Rochas

Os rejeitos provenientes da produção de rochas ornamentais variam de acordo com a etapa de que são oriundos; a empresa produtora deve prever destinos para pedaços amorfos de rochas, fragmentos de aço, rejeito fino (pó), lama abrasiva oriunda de corte de teares, cavacos de madeira e retalhos das pedras (SANTOS *et al.*, 2010).

A **Figura 4** demonstra através de um fluxograma os resíduos gerados no beneficiamento do granito, destacando as etapas de que são provenientes.

Figura 4 - Resíduos gerados no beneficiamento do granito utilizando tear tradicional.



Fonte: Extraído de REIS e ALVAREZ (2007) adaptado.

O principal resíduo gerado no processamento é decorrente da sequência de abrasão das rochas no desdobramento de blocos, que confere o aspecto liso às peças, se tratando de uma mistura de lama abrasiva: composta por pó de pedra, cal, água granalha e metais quando se utiliza o tear tradicional; no caso do tear com fios diamantados, como não há metais na abrasão, o resíduo é composto apenas de pó de pedra, água e cal (REIS e ALVAREZ, 2007).

Estima-se que, por ano, é gerada cerca de 1,8 milhão de tonelada dessa lama apenas no Brasil, sendo que aproximadamente 1,6 milhão t/ano seja gerado apenas na etapa de desdobramento dos blocos em chapas (REIS, 2008; ULIANA *et al.*, 2013).

O alto teor de lama nessa etapa de desdobramento se deve a utilização de polpa abrasiva para o resfriamento das lâminas de serragem, evitar a oxidação das mesmas, limpar espaços entre as chapas e servir como abrasivo facilitando o processo. A polpa tem composição basicamente de água, cal, rocha moída e granalha oriunda do desgaste das lâminas (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Geralmente essa mistura é armazenada nos pátios das serrarias, em tanques ou poços, para acúmulo diretamente no solo sem qualquer tipo de impermeabilização. Como não há circulação do líquido, parte da eliminação se dá por evaporação e infiltração no solo, contaminando o solo e água subterrânea. Outra disposição frequente são os aterros, neste caso, a empresa tem que arcar com os custos referentes ao transporte e a taxa de acondicionamento do material (REIS, 2008; ULIANA *et al.*, 2013; MORAIS, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2016; SILVA, 1998).

O tratamento menos frequente é o direcionamento do resíduo a uma barragem, onde será filtrado e as partes líquidas e sólidas serão separadas, a parte pastosa restante será direcionada para outro tanque, ficando assim exposta ao sol para secagem. A água, então, é bombeada do poço de recolhimento e retorna para o pressurizador do tear, que cria uma chuva abrasiva, distribuída nos blocos e lâminas, formando todo o processo de corte novamente. (RIBEIRO *et al.*, 2016).

MORAIS (2006) ainda relata que apenas 2% das empresas implantadas no estado do Espírito Santo realizam processos de separação de fases dos efluentes gerados, as quais fazem uso de coagulantes, sedimentação primária e utilização de filtro-prensa para desidratação do material, enquanto a maioria das empresas de polimento reaproveita de alguma forma o efluente gerado.

A disposição destes resíduos no ambiente sem tratamento provoca consideráveis impactos ambientais, a maioria dos autores descreve a contaminação dos corpos d'água, incluindo as alterações dos lençóis freáticos, devido ao pH elevado consequente da presença da cal, o aumento da concentração de sólidos e turbidez das águas devido ao carreamento, principalmente em período chuvoso, e ainda o assoreamento de cursos d'água e obstruções de nascentes. Outros estudos destacam também geração de entulhos, poluição atmosférica, visual e estética. (REIS, 2008; ULIANA *et al.*, 2013; MORAIS, 2006; RIBEIRO *et al.*, 2016; SILVA, 1998).

Visando um desenvolvimento sustentável, trabalhos têm sido desenvolvidos e mostrado grande potencial para a utilização destes resíduos, particularmente de mármore e granito, no desenvolvimento de produtos para a construção civil (MOREIRA, *et al.*, 2005).

Segundo OLIVEIRA *et al.* (2016), o resíduo puro é classificado como não perigoso, a adição de 2 a 5 % de cimento eleva sua resistência à compressão, permitindo aplicação em misturas de solo para pavimentos e camadas de impermeabilização.

BARBOSA (2008) testou absorção, permeabilidade e ruptura à flexão de telhas de concreto com incorporação da lama em questão e verificou que essas atenderam aos limites estabelecidos pela norma, e ainda pode comprovar que telhas com 20% de lama obtiveram desempenho melhor que as confeccionadas com 10%, indicando

assim que a presença do resíduo pode até mesmo contribuir para melhoria das propriedades do material.

RIBEIRO *et al.* (2016) concluiu que blocos de tijolos com incorporação desta lama abrasiva pode ser utilizado com finalidade de design para diversos locais e áreas externas como jardins e áreas ornamentais.

O estudo de SILVA (2005) revela que a lama de mármore e granito pode ser incorporada na massa de argila sem perda ou comprometimento das propriedades dos corpos sinterizados de cerâmica vermelha. No mesmo setor de cerâmicas, PONTES e STELLIN (2005) testaram o resíduo na incorporação de cerâmica vermelha, para a produção de tijolos, telhas e lajotas, podendo ser utilizado em até 30% nas formulações de massa, e ainda verificaram que o resíduo beneficiado pode substituir com vantagens a argila grosseira que os ceramistas normalmente misturam com sua argila mais fina para diminuir a plasticidade.

3.1.2. Composição Química do Resíduo Gerado na Etapa de Desdobramento

A composição química dos resíduos de granito não é tão variável qualitativamente, no entanto, são constatadas diferenças nos percentuais de uma região a outra devido ao processo de formação geológica, a etapa do processo a ser analisada e peculiaridades conferidas aos resíduos gerados por teares tradicionais ou de fios diamantados (OLIVEIRA, 2016).

O percentual de sílica (SiO_2) presente no resíduo influencia diretamente na sua plasticidade quando misturado e queimado com material argiloso; quanto maior a presença deste óxido menor será a plasticidade da mistura. (AGUIAR, 2012).

Em geral, sua constituição principal está sob a forma de óxidos como SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e os óxidos alcalinos (MORAES, 2006) e a caracterização e composição completa dos diferentes resíduos é realizada utilizando as técnicas de difração e fluorescência de raios-X. Para compreender melhor as diferenças percentuais encontradas nas composições química do resíduo, a **Tabela 1** demonstra um levantamento de estudos e trabalhos científicos de alguns autores (AGUIAR, 2012).

Tabela 1 - Composição do resíduo no desdobramento do granito utilizando granalha.

Composições (% em peso)	Vieira <i>et al.</i> (2004)	Monteiro <i>et al.</i> (2004)	Moreira <i>et al.</i> (2008)	Acchar <i>et al.</i> (2006)	Souza <i>et al.</i> (2010)	Torres <i>et al.</i> (2009)
SiO ₂	67,17	64,14	72,17	44,21	66,43	62,7
Al ₂ O ₃	14,92	13,25	10,8	22,38	17,23	12,75
Fe ₂ O ₃	4,4	8,18	5,04	9,86	3,7	10,63
TiO ₂	0,73	0,96	1,07	2,33	0,83	0,24
CaO	1,91	3,56	2,33	8,71	2,23	3,96
K ₂ O	5,18	4,4	3,87	4,13	7,49	4,34
Na ₂ O	2,93	2,55	2,34	2,71	1,01	3,34
MgO	0,73	1,65	0,94	3,51	0,32	0,8
MnO ₂	-	-	0,08	0,15	0,08	0,1
P ₂ O ₅	-	-	0,27	-	-	0,26
PF	0,5	1,6	1,08	0,43	0,65	0,7

Fonte: AGUIAR, (2012).

A partir da **Tabela 1**, nota-se um elevado percentual de sílica, alumina e ferro, sendo que esse último é devido ao uso da tecnologia de tear convencional no processo de beneficiamento. Em contrapartida, é importante destacar que a utilização da tecnologia de tear com fios diamantados resulta em um percentual de ferro menor na composição conforme a **Tabela 2** (ULIANA, 2013).

Tabela 2 - Composição química do resíduo sem granalha.

Composições (% em peso)	ULIANA <i>et al.</i> (2013)	AGUIAR (2012)
SiO ₂	66,80	77,66
Al ₂ O ₃	13,50	14,59
Fe ₂ O ₃	3,79	0,46
TiO ₂	0,16	-
CaO	3,44	0,92
K ₂ O	3,83	2,58
Na ₂ O	3,50	3,27
MgO	0,93	-
MnO ₂	-	-
P ₂ O ₅	0,07	-
PF	3,50	0,23

Fonte: AGUIAR, (2012); ULIANA *et al.*, (2013).

Em ambas as tabelas claramente notam-se que o resíduo é composto principalmente por sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), havendo diferenciação no teor de ferro presente devido a utilização de granalha de aço durante o corte do bloco.

3.2. LEGISLAÇÃO E MEIO AMBIENTE

A regularização/licenciamento no setor de rochas ornamentais acontece no âmbito estadual ou municipal, em função da abrangência do impacto. No Espírito Santo o órgão regulamentador é o IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, que estabelece a Instrução Normativa nº 019 de 17 agosto de 2005 para rochas ornamentais.

A finalidade da normativa é determinar critérios e procedimentos para a emissão de Licença Ambiental para as atividades de beneficiamento de rochas ornamentais, visando o controle preventivo da degradação ambiental potencial e efetiva desta atividade e definir as diretrizes técnicas para o gerenciamento dos efluentes líquidos e resíduo sólidos, como também os critérios para concessão das licenças ambientais.

A Normativa determina a responsabilidade da empresa que gera os resíduos, a separação visando o reaproveitamento dos sólidos, assim como otimizar o uso da água por meio do tratamento do efluente gerado no processo industrial, o qual deverá ser eficientemente compatível com a destinação final dada aos resíduos sólidos gerados, sempre de acordo com as leis ambientais vigentes. Além disso, o armazenamento de resíduos sólidos, quando com umidade inferior a 30%, deverá ocorrer sobre o solo com permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s, sobre zona não saturada de espessura superior a 3 metros, com sistema de drenagem pluvial e de águas residuais e medidas de proteção contra erosão, excetuando-se os casos de disposição sobre piso impermeabilizado.

É proibida a descarga dos efluentes líquidos em corpos hídricos que estiverem fora dos padrões previstos pela legislação. A disposição de resíduos sólidos proveniente dos rejeitos de matérias-primas deve ser devidamente discriminada, e em locais onde não há declive ou desmoronamento. Outro ponto é a proibição da queima a

céu aberto de resíduos sólidos de qualquer natureza e a reutilização de recipientes de produtos perigosos, salvo os casos de armazenamento dos próprios produtos.

E de acordo com o Artigo 11º desta mesma normativa, o não cumprimento das exigências poderá promover o emprego das penalidades previstas por lei, estabelecida em função da poluição e degradação ambiental pelo lançamento de efluentes industriais em desconformidade com as normas ambientais vigentes, por não apresentar o devido tratamento.

Essas iniciativas são tomadas para amenizar os impactos ambientais, pois, de acordo com ALMEIDA (2006), existem problemas associados ao meio ambiente em todas as fases do processo de exploração de rochas. Os impactos ambientais estão presentes desde a prospecção e pesquisa mineral de rochas, até a fase de abertura da frente de lavra, implementação de empreendimento, extração, beneficiamento e refino da rocha propriamente dita.

O problema acontece em todos os tipos de rocha, existindo algumas distinções quanto à magnitude do impacto nas fases de beneficiamento em virtude das técnicas utilizadas. Os principais impactos são: desmatamento, efluentes líquidos, ruídos, poeira e problemas associados a recursos hídricos como assoreamento (FEAM, 2015).

Na tentativa de minimizar a poeira e evitar o superaquecimento das máquinas de corte, a água é utilizada gerando uma mistura com o pó resultando uma lama de mármore ou comumente chamada lama abrasiva. Os resíduos produzidos passam por tratamento de desidratação ou até mesmo são depositados no meio ambiente na sua forma inicial (ALYAMAÇ e TUĞRUL, 2014).

O manuseio e descarte da poeira e da lama do mármore ocasionam severos problemas ambientais tendo em vista a contribuição para o acúmulo e dispersão provocando a poluição do ar, da água e do solo, causando assoreamento e a alteração da turbidez dos corpos d'água (ALGIN e TURGUT, 2016; GALETAKIS, ALEVIZOS e LEVENTAKIS, 2012).

Os resíduos provenientes do processo de corte, polimento e acabamento, são destinados a aterros independente do uso. A lama abrasiva tem seu teor de água reduzido, e o pó resultante, causa sérios problemas ambientais (ALMEIDA *et al.*,

2007). Porém, de acordo com FEAM (2015), já existem iniciativas do reaproveitamento desses finos retirados.

3.3. PANORAMA DOS MATERIAIS CERÂMICOS

No âmbito econômico, o Brasil é considerado um protagonista no mercado mundial de revestimento cerâmico, estando na segunda posição no quesito consumo e produção. Em 2016, o setor atingiu 792 milhões de metros quadrados para uma capacidade instalada de 1048 milhões de metros quadrados. Já no quesito vendas, foram atingindo 800, 3 milhões de metros quadrados, sendo 706 milhões vendidos no mercado interno e 94,3 milhões exportados (ANFACER, 2017).

Os materiais cerâmicos são normalmente produzidos a partir da argila e minerais de origem natural como sílica, feldspato, albitas, filitos, talcos, calcários entre outros (LEGGERINI, 2005; BARBORA 1997). Entretanto, essas matérias primas são selecionadas e, em alguns casos, recebem um beneficiamento e processamento adicional para que atinjam as propriedades necessárias aos produtos que são direcionadas (VAN VLACK, 1973).

3.3.1. Composição Química das Argilas

A NBR 6502/1995 define argila como solo de granulação fina constituído por partículas de dimensões menores que 0,002 mm (ABNT, 1995). De maneira geral, o termo argila significa um material de textura terrosa e granulometria fina, que após moagem e umedecimento com água apresenta plasticidade, que endurece após secagem ou queima (SANTOS, 1989).

Os argilominerais são os minerais constituintes das argilas que do ponto de vista químico, são silicatos de alumínio ou de magnésio hidratados, sendo seus principais grupos: caulinita, illita e esmectitas ou montmorilonita. A composição química mais comum é a do silicato aluminoso hidratado ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). O que diferencia estes argilominerais são basicamente o tipo e as substituições que podem ocorrer dentro da estrutura: do alumínio por magnésio ou ferro, e do silício por alumínio ou

ferro, e consequente neutralização das cargas residuais (LEHMKUHL, 2004). Entretanto, alguns óxidos de alguns elementos, como potássio, ferro, sódio, magnésio, cálcio e outros, podem ser encontrados como impurezas na estrutura de uma argila, e esses também influenciam nas características desta matéria-prima (SANTOS, 1975).

Para identificação e quantificação dos diferentes elementos químicos que compõem os minerais das argilas, geralmente é utilizada técnicas de fluorescência de raio-X. Na **Tabela 3** é possível verificar as diferenças percentuais encontradas nas composições químicas através de trabalhos científicos que utilizaram as técnicas de fluorescência de raios X.

Tabela 3 - Composição química da argila.

Composição (% em peso)	Paixão (2005)	Batista (2008)	Macedo et al. (2008)	Mercury et al. (2012)
SiO₂	69,5	52,7	54,6	61,5
Al₂O₃	13,5	23,97	25,6	21,5
Fe₂O₃	5,3	7,58	6,8	3,4
K₂O	3,3	1,25	1,2	1,4
CaO	0,64	0,56	0,2	0,1
MgO	2,2	4,04	0,8	0,4
Na₂O	1,5	0,62	0,8	0,7
TiO₂	0,60	-	-	1,4
MnO₂	0,06	-	-	0,4
PF	3,2	-	9,9	9,6

Fonte: Acervo do autor.

Observa-se ainda que não existe uma variação qualitativa entre as composições apresentadas pelos autores e foram constatados valores altos de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃. No entanto, é importante ressaltar que as argilas não seguem uma composição rigorosamente padronizada uma vez que é possível encontrar inúmeras impurezas que podem influenciar os percentuais até numa mesma jazida (FRASCÁ e SARTORI, 1998).

Devido à existência de argilominerais, as argilas na presença de água apresentam certas propriedades tais como: plasticidade, resistência mecânica à úmido, retração linear de secagem, compactação, e viscosidade de soluções aquosas, propriedades

estas que explicam sua grande variedade de aplicações tecnológicas (LEHMKUHL, 2004).

As propriedades mecânicas dos materiais dependem tanto da composição química, da microestrutura e da natureza das ligações. As argilas ideais para fabricação de produtos cerâmicos devem ser de fácil desagregação permitindo uma moldagem adequada; granulometria fina e distribuição granulométrica conveniente para garantir o controle das dimensões finais do produto; baixo ou nenhum teor de carbonatos, sulfatos e sulfetos, para que ocorra mínima perda ao fogo (LEHMKUHL, 2004).

3.3.2. Tipos de Argilas e Propriedades

Os componentes das argilas podem ser agrupados em função de sua plasticidade, que é a capacidade de um material ser deformado plasticamente sem se romper, permanecendo no estado deformado (VAN VLACK, 1970; MOTTA, 2005). Vale ressaltar que o grau de deformação está diretamente ligado a quantidade de água presente na pasta de argila, sendo que, quando em quantidade adequada, a água age como um lubrificante e favorece o deslizamento das partículas entre si quando é aplicada uma tensão superficial. Dentre os fatores que influenciam a plasticidade, destacam-se: a mineralogia, granulometria, forma dos cristais, carga elétrica dos cristais e o estado de desfloculação da argila (MEIRA, 2001).

Os materiais plásticos têm grande importância na etapa da conformação e moldagem das peças cerâmicas, apresentando grande retração após a secagem (MOTTA, 2005). A caulinita é o argilomineral que se destaca nesse grupo, sendo que a plasticidade pode ser aumentada utilizando-se carbonatos, hidróxidos, silicatos e oxalatos. (LEGGERINI, 2005)

Os materiais não plásticos têm a função de diminuir a retração das peças e ajudar na secagem, sendo necessário equilibrar a quantidade desses dois materiais de forma a controlar as deformações e propriedades da peça. Devido as diferentes temperaturas de fusão durante a queima, os materiais não plásticos podem se apresentar como inertes, vitrificantes e fundentes (MOTTA, 2005).

Os materiais fundentes formam uma fase líquida em temperaturas mais baixas, e com isso, tendem a preencher os espaços vazios do corpo cerâmico, reduzindo a porosidade e a absorção de água e aumentando a resistência mecânica; se estiverem em excesso podem provocar instabilidade dimensional e deformação nas peças. Os principais materiais fundentes são os feldspatos, óxidos de metais alcalinos (Na_2O e K_2O), e alcalinos terrosos (CaO e MgO) (RIELLA, FRANJNDLICH e DURAZZO, 2002; PIANARO, 2004).

Os maiores representantes da composição da argila merecem destaque nas propriedades que apresentam. A sílica livre, na forma de areia, é indispensável na fabricação das cerâmicas, pois ao fundir forma o vidro que aglutina e endurece o material, além de reduzir a refratariedade da argila, a resistência mecânica, a retração e a deformação, essa também facilita a secagem. A alumina baixa o ponto de fusão da sílica, reduz a plasticidade, a resistência mecânica e as deformações. O óxido de ferro confere cor vermelha e aumenta consideravelmente a dureza das peças. Por fim, devem-se evitar matérias-primas compostas por materiais orgânicos, esses aumentam a plasticidades, porém tornam a cerâmica fraca e porosa (LEGGERINI, 2005).

Outra diferenciação comum entre as argilas é usada pelos fabricantes de produtos cerâmicos. Usualmente classificam-se as argilas em “fracas” e “fortes”, em função de suas propriedades durante a queima, e também seus aspectos físicos e visuais. Essas argilas são misturadas empiricamente, de forma a equilibrar suas propriedades.

Alguns autores se dispuseram a estudar essa classificação, através de testes, pode demonstrar que as argilas “fracas” são arenosas, sendo sua sílica proveniente do quartzo e com uma granulometria superior; também são ricas em compostos de ferro, apresentando coloração amarelada. O uso dessas argilas reduz a absorção da água e a retração linear, porém torna as peças mais frágeis e ocasiona trincas (VIEIRA e PINHEIROS, 2011).

As argilas “fortes” expressam maior quantidade de caulinita e menor teor de sílica livre, são capazes de aumentar a resistência mecânica devido a maior plasticidade; entretanto apresentam porosidade, retração e perda ao fogo, isso devido à eliminação das hidroxilas da caulinita. Visualmente, costumam ser identificadas por

sua coloração amarela-acinzentada ou cinza, e até mesmo preta devido ao teor de matéria orgânica de aproximadamente 3 a 4% (VIEIRA e PINHEIROS, 2011).

O item 3.1.2 descreve a composição da lama abrasiva, sendo possível notar que esta é compatível a das argilas, apresentando maior composição de sílica e alumina, além da presença de outros óxidos em comum; esse resíduo tem uma similaridade maior com as argilas ditas “fracas”. Tal fato justifica a tentativa de substituir parte dessa argila usualmente aplicada na fabricação de produtos cerâmicos por esse resíduo.

3.3.3. Tipos de Cerâmicas

O setor cerâmico é composto por todos os materiais inorgânicos e não metálicos geralmente obtidos após tratamentos térmicos a temperaturas elevadas. Por ser tão amplo, pode ser dividido em muitos segmentos a partir de vários fatores como matérias-primas, propriedades e área de utilização. Os principais segmentos do setor são cerâmica vermelha, abrasivos, cerâmica branca, cerâmica de alta tecnologia, isolantes térmicos, materiais de revestimento, materiais refratários, vidro, cimento e cal (ABDI, 2010).

Nomeada pela sua coloração, a cerâmica vermelha é muito utilizada na construção civil desde a parte estrutural quanto para adornos; é representada por tijolos maciços, telhas, blocos de vedação e estruturais, manilhas e pisos rústicos (BUSTAMANTE, BRESSIANI, 2000).

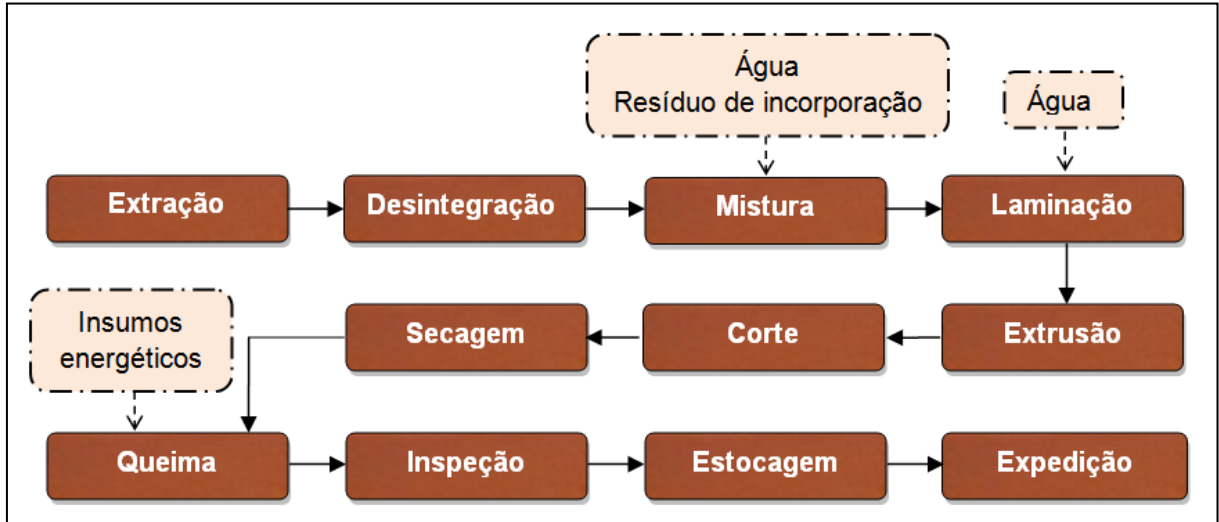
3.3.4. Processo de produção de cerâmica

Destacada a grande importância do setor cerâmico na área de construção civil e na economia, é apresentado através da **Figura 5** o fluxograma do processo produtivo da indústria de cerâmica vermelha.

O processo inicia-se com a extração da argila a céu aberto, podendo ser executada manualmente ou mecanizada; é armazenada em pequenos lotes e coberta por uma lona plástica para facilitar a decomposição da matéria orgânica e sais solúveis; em

seguida, deixa-se descansando para melhorar a conformação do produto acabado (FEAM e FIEMG, 2013).

Figura 5 - Fluxograma do processo produtivo da indústria de cerâmica vermelha.



Fonte: FEAM e FIEMG, (2013), adaptado.

A mistura é o ponto inicial para a preparação da massa cerâmica, sendo um passo essencial para um produto de alta qualidade e redução de perdas; recomenda-se que ocorra a homogeneização adicionando água na parte central da massa para facilitar a mistura; a utilização de água quente acelera o processo de absorção pelo centro do grão argiloso. A mistura é submetida ao processo de laminação, responsável pelo direcionamento das partículas de argila, logo, a qualidade dessa etapa determina a qualidade do produto final. O processo segue para a etapa de extrusão, que consiste em forçar a massa, por pressão, através de um bocal de acordo com o tipo da peça a ser produzida; a etapa de corte é responsável em fornecer a dimensão desejada ao produto; após essa, é realizada uma inspeção visual onde as peças são selecionadas e encaminhadas para o setor de secagem, que pode ser de forma natural ou artificial (FEAM e FIEMG, 2013).

Finalmente, a peça segue para o processo de queima onde são adquiridas suas propriedades finais. Tal tratamento térmico é responsável por inúmeras transformações químicas na argila como perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação da fase vítrea e a sinterização dos grãos (FEAM e FIEMG, 2013). Ressalta-se que uma queima lenta favorecerá a obtenção de um produto de maior qualidade e que as temperaturas altas são mais significativas quanto as alterações na microestrutura do produto final (SILVA, 2006).

As transformações químicas e físicas que ocorrem durante a queima podem ser descritas da seguinte forma (SILVA, 2006):

- até 200°C: remoção da água higroscópica ou residual;
- de 350°C a 650°C: combustão das substâncias orgânicas e dissociação dos sulfetos com liberação de CO₂ e SO₂;
- de 600°C a 800°C: colapso do retículo dos argilominerais com liberação da água de constituição;
- de 800°C a 950°C: decomposição dos carbonatos com liberação de CO₂;
- de 900°C a 1000°C: reações da sílica e da alumina com outros elementos, e formação de complexos silicoaluminatos que conferem ao corpo cerâmico as propriedades físico-mecânicas características;
- acima de 1000°C: amolecimento e fusão de silicoaluminatos com formação de uma fase vítrea que, englobando as partículas menos fundíveis, confere dureza, compactação, impermeabilidade e resistência mecânica característica ao corpo cerâmico.

Quando o aquecimento ultrapassa a temperatura de secagem, a tendência é expelir mais moléculas de água favorecendo a formação de poros na peça. Por outro lado, a contínua e crescente elevação da temperatura a partir desse ponto faz com que ocorra uma maior atração entre as moléculas, diminuindo gradativamente a porosidade e, conseqüentemente, aumentando a resistência mecânica até que a vitrificação seja total possibilitando a obtenção de uma peça extremamente dura ou provocar amolecimento devido à fusão (SILVA, 2006). Geralmente utiliza-se um forno contínuo ou intermitente alimentado por insumos energéticos, onde a queima pode durar horas ou até dias dependendo do patamar de temperatura utilizado; (FEAM e FIEMG, 2013).

Após a queima, o produto é inspecionado de acordo com sua elegibilidade, estocado e expedido (FEAM e FIEMG, 2013).

3.3.5. Propriedades das Cerâmicas

Os produtos cerâmicos devem apresentar as propriedades requeridas para sua aplicação, as quais podem ser mais rigorosas dependendo do produto a ser fabricado. De maneira geral, busca-se fabricar peças mais resistentes

mecanicamente e com baixa absorção de água; a presença de poros nas peças aumenta a absorção de água e torna o material mais frágil. Contudo, é necessário controlar a presença desses poros, uma vez que a tentativa de baixar a porosidade pode provocar deformação. (VAN VLACK, 1970)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dita algumas propriedades essencialmente necessárias para que um produto possa ser comercializado. A **Tabela 4** foi construída com vista nas principais cerâmicas vermelhas comercializadas: os blocos para vedação e alvenaria estrutural, os tijolos maciços para alvenaria e as telhas.

Tabela 4 - Propriedades dos principais produtos de cerâmicas vermelhas.

NBR	Produto	Resistência à compressão (MPa)	Tensão de ruptura à flexão (MPa)	Absorção (%)
15270-1	Bloco de vedação (furos na horizontal)	1,5	5,5	8 a 22
15270-1	Bloco de vedação (furos na vertical)	3	5,5	8 a 22
15270-2	Bloco para alvenaria estrutural	3	5,5	8 a 22
7170	Tijolo tipo A	1,5	2	25
7170	Tijolo tipo B	2,5	2	25
7170	Tijolo tipo C	4	2	25
15310	Telhas	-	6,5	20

Fonte: ABNT, 2005a; ABNT, 2005b; ABNT, 2005c; ABNT, 1983 e ANUÁRIO BRASILEIRO DE CERÂMICA VERMELHA, 2003.

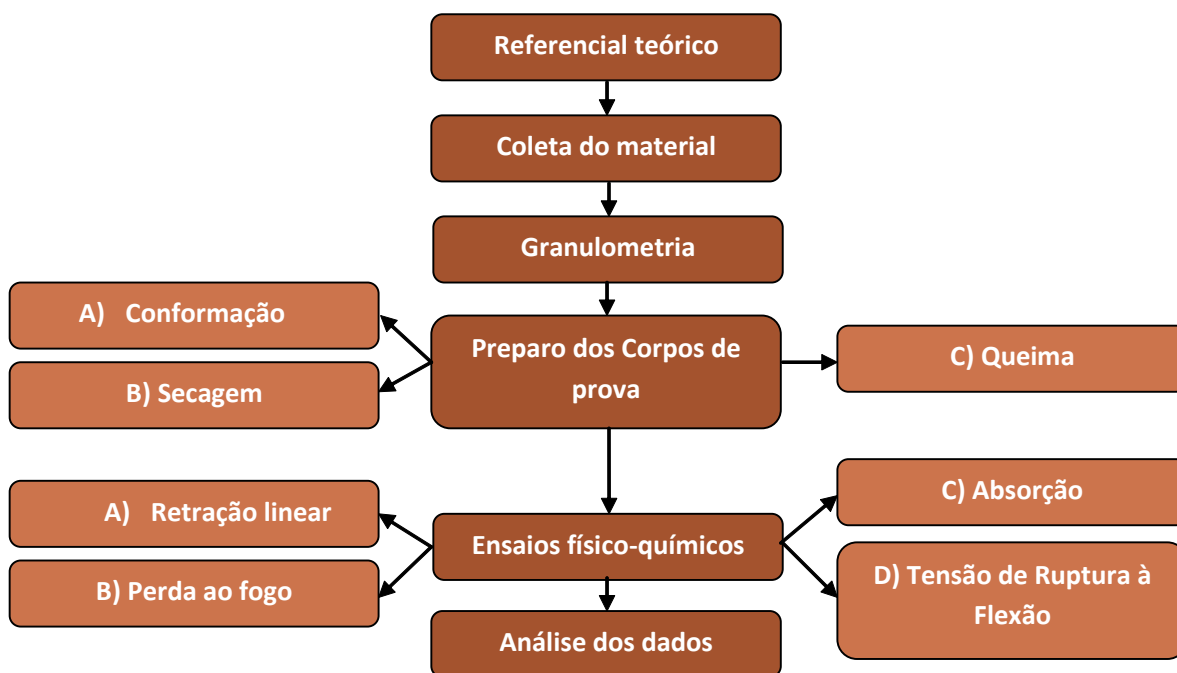
4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, procurou-se observar os diferentes comportamentos mecânicos, físicos e químicos provocados por alterações na composição das matérias-primas e nas temperaturas de queima de corpos cerâmicos. As alterações de composição são referentes à adição da lama abrasiva à argila em diferentes concentrações.

Os materiais utilizados foram duas argilas de características diferentes, definidas na literatura como fortes pela maior presença de argilominerais e argila “fraca” com uma composição mais arenosa, ambas coletadas na ARGIL, empresa produtora de

cerâmica vermelha localizada no município de João Neiva, ES. O resíduo é proveniente do processo de corte de rochas ornamentais, utilizando tear com fio diamantado, da empresa MONTE NEGRO também localizada em João Neiva, ES. A proposta apresentada segue o fluxograma da **Figura 6**.

Figura 6 - Esquema adotado para realização do trabalho.



Fonte: Acervo do autor.

4.1. ANÁLISE DO MATERIAL

A composição química do material foi determinada através de uma microanálise de Raios X no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) ZEISS EVO 50 utilizando a análise *in situ*; o equipamento operou a uma tensão de 20 kV e uma distância focal de 8 mm.

Foram preparadas amostras do resíduo de lama abrasiva, da argila “fraca” e da argila “forte”; a granulometria foi ajustada por meio de uma maceração usando almofariz e pistilo, seguido por secagem a 104°C por aproximadamente 7 horas. Após o preparo foi feita uma pastilha para cada amostra utilizando aproximadamente 0,5g do material e, finalmente, foram colocadas para a leitura.

4.2. CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

4.2.1. Preparo das misturas

Para a confecção dos corpos cerâmicos, foi utilizada como base a norma ABNT – NBR 7181; foram homogeneizados os materiais coletados; através de almofariz e pistilo foi realizada a desagregação, sendo os materiais classificados considerando as aberturas das peneiras. O material selecionado foi o de granulometria abaixo de 100 mesh. Em seguida foram pesadas as quantidades de argila e lama especificadas na **Tabela 5**, para o preparo de 1,7 Kg de cada mistura, utilizando uma balança de precisão.

Tabela 5 – Proporções de argila e lama adotada nos trabalho.

Composições	0%	10%	20%
Argila forte (g)	850	850	850
Argila Fraca (g)	850	680	510
Lama (g)	0	170	340

Fonte: Acervo do autor.

As massas foram misturadas, de acordo com a **Tabela 5**, formando 1,7 Kg de cada uma das composições de 0%, 10%, 20% de lama abrasiva, e foram reservadas por 20 minutos. Posteriormente, adicionou-se 220 gramas de água para conferir um umedecimento de 13% ao material, permitindo a conformação das peças, e novamente a mistura foi homogeneizada e colocada em repouso por 20 minutos.

4.2.2. Conformação

As misturas preparadas foram moldadas em uma fôrma de 150 mm x 25 mm x 25 mm, padronizada segundo o NBR ISO 5014 proposta por ABNT 2012; em seguida compactadas a uma pressão de 20 MPa em uma Prensa Hidráulica Marcon MPH-15 cedida pela FAACZ. Foram preparados um total de 30 corpos de provas planos, sendo 10 de cada composição definida. A forma confeccionada e a prensa utilizada

podem ser vistas na **Figura 7**. Após a conformação, foram determinadas a massa e o comprimento para posterior aplicação nos cálculos.

Figura 7 - Fôrma (a) e prensa (b) utilizadas na conformação.



Fonte: Acervo do autor.

4.2.3. Secagem

Todos os corpos foram levados à estufa de secagem onde permaneceram por 24 horas a uma temperatura de 110°C, como especificado pela NBR ISO 5014. Ao fim do período de secagem, o equipamento foi desligado e as amostras foram mantidas nesse até atingirem a temperatura ambiente, evitando-se assim rachadura, trincas e outros defeitos. Assim que o resfriamento adequado foi alcançado, foram determinados a massa e o comprimento.

4.2.4. Queima

A queima foi realizada em um Forno Mufla Vulcan 3-550PD cedido pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), que pode ser vista na **Figura 8**, contendo o

material antes e depois da queima. Foram inseridos no equipamento 5 corpos de prova de uma mesma composição, a uma temperatura de 25°C e aquecidos a uma taxa de 2°C/min até atingirem a temperatura de 300°C, na qual permaneceram por 2 horas, e continuou-se o aquecimento a mesma taxa de 2°C/min até a temperatura de patamar final. Os testes foram realizados em duas temperaturas de patamar: 1000°C e 1100°C, sendo que foram queimados 15 corpos de prova em cada temperatura, 5 de cada composição preparada. Assim que a mufla atingiu as temperaturas de patamar, estas foram mantidas por 2 horas. Ao fim desse período, o resfriamento foi realizado por inércia térmica, apenas desligando-se o forno e mantendo o mesmo fechado até atingir a temperatura ambiente, assim como na secagem.

Figura 8 - Forno Mufla VULCAN 3-550PD contendo o material antes (a) e depois da queima (b).



Fonte: Acervo do autor.

4.3. ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS

Os ensaios físicos e mecânicos realizados nos corpos de provas foram os de retração linear à queima, perda ao fogo, tensão de ruptura à flexão e absorção. Para cada ensaio foram testadas 5 amostras de uma mesma composição e queimadas a mesma temperatura, e ao final dos testes foi feita a média aritmética dos 5 resultados e seus erros.

4.3.1. Retração Linear de Queima (RLQ)

Os dados para a verificação da retração linear (RLQ) foram obtidos após a secagem e a queima, sendo que as medidas foram averiguadas com o auxílio de um paquímetro; a **Equação 1** apresenta a fórmula para este cálculo (SANTOS,1989).

$$RLQ(\%) = \frac{c_s - c_q}{c_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde os comprimentos dos corpos de prova após secagem (c_s) e após queima (c_q) foram obtidos em centímetros, expressando uma análise adimensional da retração.

4.3.2. Perda ao Fogo (PF)

A perda ao fogo representa o percentual perdido de material depois de submeter os corpos de prova à queima. Os dados necessários foram as massas dos corpos de prova antes e depois da queima, sendo a **Equação 2** a fórmula utilizada para este cálculo. (SILVA, 2006)

$$PF(\%) = \frac{m_s - m_q}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde as massas após a secagem (m_s) e após a queima (m_q) foram obtidas em gramas, expressando uma análise adimensional.

4.3.3. Tensão de Ruptura à flexão (TRF)

O ensaio de Tensão de Ruptura à Flexão (TFR) foi realizado com o auxílio de uma máquina universal de ensaios mecânicos EMIC-GR044, a qual pode ser vista na **Figura 9**. Através dessa foi aplicada uma carga vertical no corpo de prova até que ocorresse falha, o valor obtido foi aplicado na **Equação 3**, para o cálculo da Tensão de Ruptura a Flexão aplicada, em conformidade com a NBR ISO 5014.

$$TRF = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{\max} L_s}{bh^2} \quad (3)$$

Onde $F_{\max}$ é a força máxima exercida no corpo de prova, em Newton (N); L_s é a distância entre os pontos de suporte do corpo de prova, em milímetros (mm); b é a largura do corpo de prova (mm) e h é a altura do corpo de prova (mm).

Figura 9 - Máquina Universal de Ensaios Mecânicos EMIC-GR044



Fonte: Acervo do autor

4.3.4. Índice de Absorção d'água:

Para a realização do ensaio de absorção utilizou-se a NBR 15310 de 2005 como parâmetro a ser seguido. Iniciou-se o ensaio com a retirada do pó e das partículas soltas dos corpos de prova anteriormente queimados, em seguida submete-os na estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Os corpos de prova são pesados em intervalos de 1 hora até que o valor diferencie no máximo de 0,25%. Com a estabilização do peso é possível averiguar a massa seca (m_s) em gramas.

Após a determinação da massa seca, todos os corpos de provas foram colocados em um recipiente preenchido com água, sendo necessária a total imersão dos corpos de prova por um período de 24 horas a fim de obter a massa úmida (m_u).

O cálculo para a determinação do índice de absorção d' água (A) dos corpos de prova é expressa em percentagem pela **Equação 4**:

$$A = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (4)$$

Onde m_u e m_s representam respectivamente a massa úmida e a massa seca de cada corpo de prova em gramas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A análise dos resultados iniciou-se verificando a composição de cada um dos materiais utilizados no preparo das misturas. Os resultados obtidos na análise do MEV foram utilizados na construção da **Tabela 6**, onde se pode observar a composição dos elementos que formam o resíduo da lama de granito, a argila “fraca” e a argila “forte”.

Tabela 6 - Composição dos materiais.

Elementos	Resíduo (%)	Argila "fraca" (%)	Argila "forte" (%)
C	7,69	3,34	6,41
O	49,52	51,79	52,07
Na	1,85	-	-
Al	6,81	17,43	17,02
Si	28,18	14,13	14,01
K	4,00	-	0,59
Ca	0,72	-	-
Fe	0,88	13,05	9,56
Mg	0,36	0,26	0,35

Fonte: Acervo do autor.

A partir da **Tabela 6** nota-se que ambos apresentaram um percentual elevado de oxigênio que possibilita assumir que as composições de ambas as amostras estão, sobretudo, na forma de óxidos. Em relação ao resíduo destaca-se a presença de silício – provavelmente na forma de sílica – e, em menores proporções, potássio, sódio e alumínio. A presença de cálcio, magnésio e ferro apresentou um percentual inferior aos outros elementos, sendo o ferro devido à utilização do fio diamantado no tear utilizado no processo.

Quanto a composição da argila “forte” e “fraca”, percebe-se que a “forte” possui uma quantidade duplicada de carbono em relação a “fraca”, o que permite considerar a presença de carga orgânica. As demais composições são próximas uma da outra, apresentando um alto teor de silício e alumínio, diferenciando apenas na

composição de ferro, sendo esse superior na composição da argila “fraca”; esta diferenciação era esperada de acordo com VIEIRA e PINHEIROS, 2011.

5.2. RETRAÇÃO LINEAR À QUEIMA (RLQ)

Para a verificação da retração linear obteve-se os valores dos comprimentos dos corpos de prova após a secagem e após a queima. Com os dados coletados realizou-se o cálculo da RLQ conforme a **Equação 2**.

Os dados coletados estão representados na **Tabela 7** nas diferentes temperaturas e concentrações. Para a realização dessa tabela utilizou-se a média obtida nos resultados da retração para os 5 corpos de prova de mesma composição, expressando as médias em diferentes temperaturas de queima e das composições de 0%, 10% e 20%.

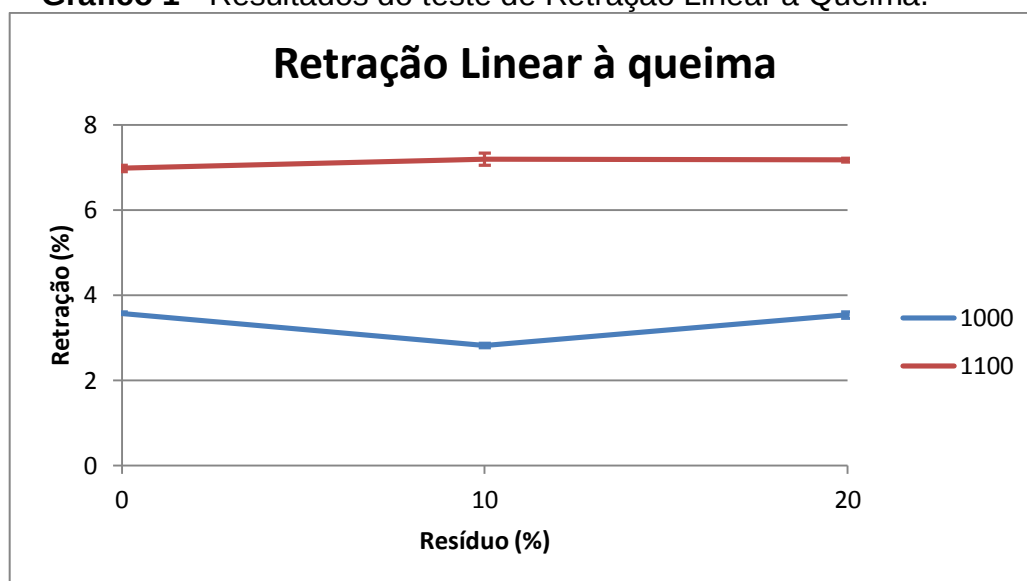
Tabela 7 - Resultados do teste de Retração Linear à Queima.

Resíduo	Retração Linear à Queima (%)			
	Coeficiente de		Coeficiente de	
	1000°C	Variação	1100°C	Variação
0	3,573	0,069	6,978	0,045
10	2,816	0,071	7,194	0,014
20	3,532	0,071	7,172	0,016

Fonte: Acervo do autor.

Com os dados representados pela **Tabela 7** é possível observar uma diferença de retração considerável nos corpos de prova entre as temperaturas de 1000°C e 1100°C; quando queimados a temperatura de 1100°C, as amostras apresentaram quase o dobro de retração do que as queimadas a 1000°C, sendo os resultados da composição de 10% ainda mais expressiva nessa diferença.

Para uma melhor visualização foi construído o **Gráfico 1**, contendo a representação dos valores citados na **Tabela 7**.

Gráfico 1 - Resultados do teste de Retração Linear à Queima.

Fonte: Acervo do autor.

Diante do **Gráfico 1** percebe-se mais claramente a disparidade entre as temperaturas, essa pode ser explicada pelo fato que quando aumenta-se a temperatura ocorre uma maior interação entre as moléculas, fenômeno descrito como sinterização, e quanto maior a temperatura de queima, maior o percentual de material que atinge a temperatura de fusão, formando a fase vítrea que envolve as demais moléculas, ocasionando uma diminuição da porosidade e consequentemente tendendo temperaturas mais elevadas terem uma retração linear maior (SILVA, 2006).

A adição de resíduo ao corpo de prova não alterou significativamente a retração do material, mantendo uma variação inferior a 1% em cada faixa de temperatura. Contudo, a composição de 10% queimada na temperatura de 1000°C teve uma leve redução da retração. Essa disparidade pode ser consequência de alguma particularidade das amostras nesse percentual, ou mesmo uma leve alteração na composição de matéria orgânica; portanto, uma vez que essa alteração foi mínima, e visto que a mesma composição de 10% queimada a temperatura de 1100°C não apresenta interferência nos valores assim como as composições de 20%; pode-se supor que o percentual de resíduo adicionado não influenciou nos resultados da retração linear.

5.3. PERDA AO FOGO (PF)

Para a obtenção dos resultados de Perda ao Fogo (PF) analisou-se a variação da massa do material depois da queima no Forno Mufla. Os dados representados na **Tabela 8** são as médias dos valores de PF para cada composição e temperatura de queima, com base na **Equação 3**.

Tabela 8 - Resultados do teste de Perda ao Fogo.

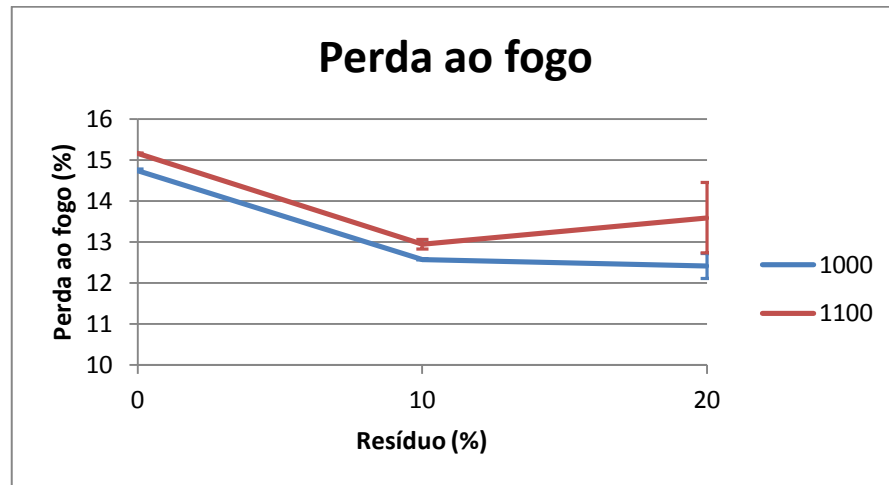
Resíduo (%)	Perda ao Fogo (%)			
	1000°C	Coeficiente de Variação	1100°C	Coeficiente de Variação
0	14,747	0,004	15,157	0,003
10	12,577	0,003	12,953	0,020
20	12,419	0,054	13,590	0,148

Fonte: Acervo do autor.

Com os dados expostos na **Tabela 8**, verifica-se uma maior perda de massa com o aumento da temperatura de queima, sendo que em temperaturas mais alta a perda de massa também é maior, ficando evidente em todas as composições.

Para uma melhor visualização plotou-se o **Gráfico 2**, nesse observa-se uma redução na perda ao fogo a medida que o resíduo foi adicionado, sendo que ocorre um pequeno acréscimo no valor na composição de 20% queimada a 1100°C. Essa discrepância pode ser consequência da variação da composição dos óxidos em cada mistura.

Enquanto os valores na temperatura de 1100°C têm um comportamento não esperado, devido os resíduos com 10% estarem inferiores aos de 20%. Assim como justificado na retração linear, isso pode ter acontecido devido à alguma particularidade das amostras desse percentual, possivelmente esses estavam mais úmidos quando foram levados à mufla, ocasionando essa disparidade de resultados. Mesmo com essa variação na composição de 10%, ainda é possível verificar uma tendência de redução de perda ao fogo com o acréscimo do resíduo na composição dos corpos de prova.

Gráfico 2 - Resultados do teste de Perda ao Fogo.

Fonte: Acervo do autor

5.4. TENSÃO DE RUPTURA À FLEXÃO (TRF)

Antes da realização dos testes de Tensão de Ruptura à flexão, mediu-se a distância entre os pontos de apoio, obtendo-se um valor de 118,88 mm. Uma vez realizado o teste, obteve-se a carga máxima suportada por cada corpo de prova e aplicou-se esse valor a **Equação 3**, juntamente com os valores de largura e altura medidos logo após a queima e a distância entre os apoios.

Foram conformados e queimados 5 corpos de prova para cada composição e temperatura, e calculou-se a média dos valores de Tensão de Ruptura à flexão obtidos. Os dados foram compilados na **Tabela 9**.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de Tensão de Ruptura à Flexão.

Percentual resíduo	Tensão de Ruptura a Flexão (MPa)			
	1000°C	Coeficiente de Variação	1100°C	Coeficiente de Variação
0	7,804	0,048	10,227	0,090
10	7,522	0,116	16,262	0,242
20	8,727	0,238	20,352	0,126

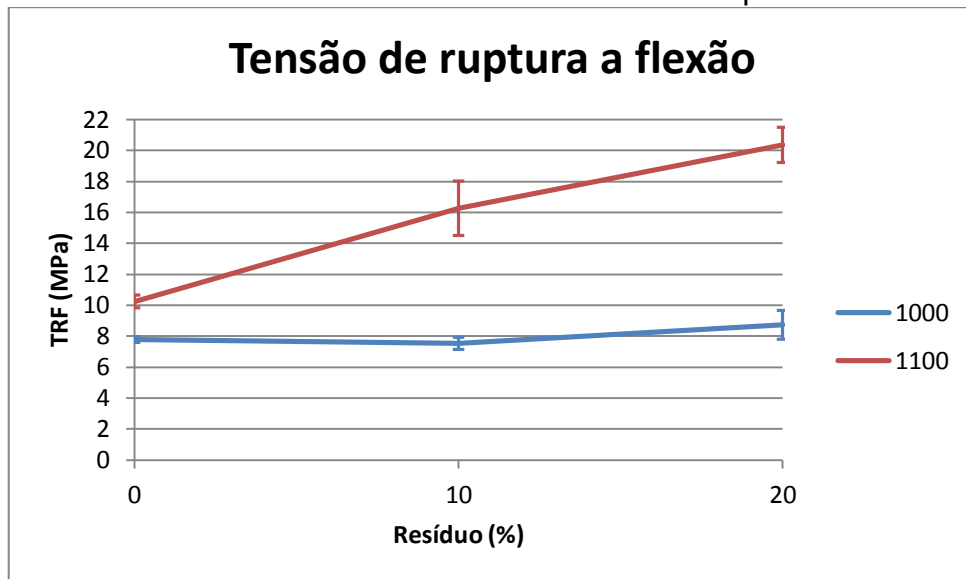
Fonte: Acervo do autor

Comparando os valores dos testes realizados com a resistência esperada de acordo com a **Tabela 9**, pode observar-se que todas as composições, independente da

temperatura de queima, atendem os requisitos exigidos e podem ser aplicados no uso de Telhas, Blocos e Tijolos Maciços.

Para melhor representação e análise dos dados, os resultados foram plotados no Gráfico 3, obtendo-se duas séries de temperatura e os valores em função da composição dos corpos de prova.

Gráfico 3 - Resultados do ensaio de Tensão de Ruptura à Flexão.



Fonte: Acervo do autor

Uma análise da representação do **Gráfico 3** permite perceber que todos os corpos de prova queimados a temperatura superior, de 1100°C, apresentam uma maior resistência do que os queimados a 1000°C. Tal resultado era antecipadamente esperado, uma vez que temperaturas superiores a 1000°C permitem o amolecimento e fusão de silicoaluminatos, os quais formam uma fase vítrea que englobam as demais partículas, ocupando os poros, conferindo dureza, compactação e resistência mecânica ao corpo. Portanto, maiores temperaturas de queima terão um maior percentual de fusão e sinterização, e com isso um aumento da resistência mecânica.

Observando os resultados em função da composição dos corpos de prova, nota-se que na temperatura de 1000°C, a incorporação do resíduo praticamente não afetou a resistência, e teve um leve aumento quando adicionados 20% de lama abrasiva. Quando queimados em temperatura superior, 1100°C, a adição de resíduo eleva

significativamente a resistência mecânica, e quanto maior o percentual de resíduo, dentro da faixa analisada, maior é a resposta de resistência à tensão aplicada.

Uma possível explicação para esse fenômeno é a composição da lama abrasiva utilizada, a presença de 6,81% de compostos de alumínio, 4% de potássio e resquícios de outros óxidos metálicos constituem uma composição expressiva de compostos fundentes. Somado a isso, o resíduo ainda possui 28,18% de silício e 49,52% de oxigênio, indicando significativa quantidade de sílica. Quando submetidos a temperaturas elevadas, esse conjunto apresenta potencial formação de fase vítrea pelos fundentes e quantidade considerável de sílica para ser envolvida e conferir resistência ao material.

Dessa forma, sob a análise da resistência da tensão à flexão, a lama abrasiva apresenta potencial possibilidade de aplicação na incorporação de argila para a fabricação de corpos cerâmicos, obtendo-se melhores resultados nas temperaturas próximas e/ou superiores a 1100°C.

5.5. ÍNDICE DE ABSORÇÃO D' ÁGUA

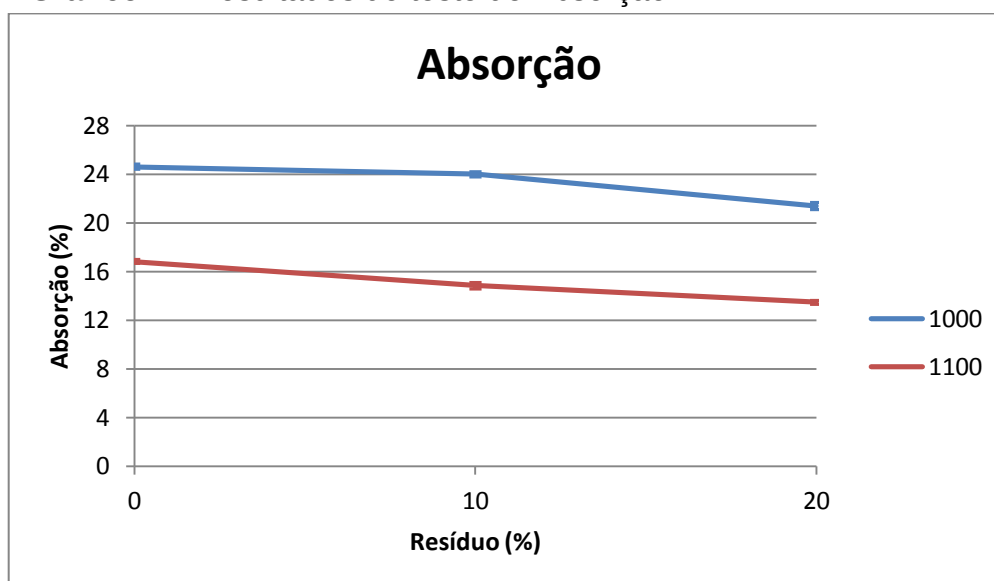
Os valores de massa obtidos no ensaio de absorção foram aplicados na **Equação 4**. Os resultados do percentual da absorção estão dispostos na **Tabela 10**.

Tabela 10 - Resultados do teste de Absorção.

Percentual do resíduo	Absorção (%)			
	1000 °C	Coefficiente de Variação (%)	1100 °C	Coefficiente de Variação (%)
0	24,604	1,991	16,828	2,031
10	23,992	2,138	14,848	3,914
20	21,388	3,229	13,468	2,709

Fonte: Acervo do Autor

Por intermédio da tabela pode-se obter o **Gráfico 4** para melhor visualização do comportamento da absorção dos corpos de prova em função do percentual dos resíduos.

Gráfico 4 - Resultados do teste de Absorção.

Fonte: Acervo do Autor

Ao analisar o **Gráfico 4**, é possível observar que a partir do aumento da concentração dos resíduos nos corpos cerâmicos ocorre uma menor absorção, uma justificativa é que a presença de materiais fundentes na composição do resíduo aumenta a sinterização dos corpos de prova

A temperatura de queima também afeta na absorção, pois segundo SILVA (2006), a queima acima de 1000°C confere ao corpo cerâmico dureza, compactação e impermeabilidade devido ao preenchimento dos poros pela fase vítrea formada, explicando o fato dos corpos cerâmicos queimados a 1100°C terem menor absorção.

Em relação à absorção esperada de acordo com as normativas apresentada na **Tabela 4** comparando com a **Tabela 10**, conclui-se que os corpos de prova queimados a 1000° C estão dentro do esperado para Tijolos (A, B e C). No entanto, é importante destacar que o corpo de prova de composição de 20% também está dentro da faixa de absorção máxima esperada para Blocos de vedação e Blocos de alvenaria estrutural.

Em contrapartida, os corpos de prova queimados a 1100°C exibem um comportamento adequado em relação a absorção para todos os produtos disponíveis na **Tabela 4** independentemente da composição, sendo que a

composição de 20% apresentou melhor resultado com a menor absorção. Esse perfil acontece em razão das justificativas já apresentadas.

6. CONCLUSÃO

O estudo realizado sobre o reaproveitamento da lama abrasiva na produção de cerâmica vermelha apresentou excelentes resultados. Considerando o estudo que foi elaborado sobre assunto, comprovou-se que a cerâmica vermelha apresenta diversas possibilidades quanto a incorporação em sua matéria-prima e a lama de granito é uma possibilidade muito propícia.

Os corpos de prova confeccionados utilizando o resíduo em questão tiveram alterações mínimas na retração linear e perda ao fogo; enquanto nota-se que foi benéfico em relação as propriedades de absorção e resistência à tensão de ruptura à flexão, ou seja, houve uma melhora da resistência e diminuição da absorção, sendo ambos desejados para o produto final, sendo que os melhores resultados foram obtidos na incorporação de 20% de lama queimados à 1100°C.

As análises frente as temperaturas demonstram que o material cerâmico melhora suas propriedades de absorção e resistência quando queimados a maiores temperaturas, como a de 1100°C.

Diante disse disso, o uso do resíduo apresenta grande potencial na produção de cerâmica vermelha, mas se faz necessário determinar com maior precisão a composição e temperatura ideal para a confecção do produto de modo que não afete negativamente sua qualidade, assim como outros parâmetros que influenciam na aplicação. Outra sugestão para estudos futuros é avaliar a viabilidade econômica para utilizar o resíduo de lama abrasiva na indústria de cerâmica.

7. REFERÊNCIAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Estudo técnico Setorial da Cerâmica Vermelha.** Estudo Desenvolvido no Âmbito do Convênio 076/2010. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova_p%C3%A1gina%20%C3%BAnica%20-%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2017;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15270-1: **Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação-Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005a;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15270-2: **Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005b;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15310: **Componentes cerâmicos – Telhas -Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2005c;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7170: **Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.** Rio de Janeiro, 1983;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 5017: **Produtos refratários conformados densos – Determinação da densidade de massa, porosidade aparente e porosidade real.** Rio de Janeiro, 2015;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 5014: **Produtos refratários densos e isolantes – Determinação do módulo de ruptura à temperatura ambiente.** Rio de Janeiro, 2012;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 6502: **Rochas e Solos.** Rio de Janeiro, 1995;

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: **Solo: Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 1983;

AGUIAR, M. C. **Utilização de resíduo de serragem de rocha ornamental com tecnologia de fio diamantado em cerâmica vermelha.** 2012. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais)– Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2012;

ALGIN, H.M.; TURGUT, P. Cotton and limestone powder wastes as brick material. **Constr. Build.** In: SOARES, E. S. S. VIEIRA, R. K. Análise ambiental dos processos de beneficiamento das marmorarias da cidade de Manaus. XXXVI Encontro Nacional De Engenharia de Produção. João Pessoa, 2016;

ALMEIDA, N.; BRANCO, F.; BRITO, J.; SANTOS, J. R. High-performance concrete with recycled stone slurry, **Cem. Concr. Res.** 37 (2007) 210–220. In: SOARES, E. S. S. VIEIRA, R. K. Análise ambiental dos processos de beneficiamento das marmorarias da cidade de Manaus. XXXVI Encontro Nacional De Engenharia de Produção. João Pessoa, 2016;

ALMEIDA, S. **Lavra, artesanato e mercado da esteatita de Santa Rita de Ouro Preto, Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral: Economia Mineral), Universidade Federal de Ouro Preto. p 123. Ouro Preto, 2006. In: Guia técnico ambiental da indústria de rochas ornamentais. Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. - Belo Horizonte: FEAM; FIEMG, 2015. 60p.: il;

ALYAMAÇ, K.E.; TUĞRUL, E. A Durable, Eco-Friendly and Aesthetic Concrete Work: Marble Concrete. **11th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2014)**, 50, 21-25, İstanbul, Turkey. October 2014. In: SOARES, E. S. S. VIEIRA, R. K. Análise ambiental dos processos de beneficiamento das marmorarias da cidade de Manaus. XXXVI Encontro Nacional De Engenharia de Produção. João Pessoa, 2016;

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. **O mercado brasileiro. A indústria brasileira de cerâmica para revestimento.** 2017. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/brasil>>. Acesso em: 26 jun. 2017;

ANUÁRIO BRASILEIRO DE CERÂMICA VERMELHA, Pólo Produções, Ed: J. L. Francisco, Criciúma, SC 2003, 36. In: SILVA, A. B.; Reaproveitamento da lama de

aciaria com baixo teor de ferro metálico na fabricação de cerâmica vermelha. 2006. Dissertação (Mestrado na área de Análise e Seleção de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2006;

BARBOSA JR, J. C. **Controle da distribuição de tamanho de partículas cerâmicas no processamento de pavimentos gresificados**. Florianópolis, 1997.185 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Setor de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Catarina;

BARBOSA, G. S. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.fsma.edu.br/visoes/ed04/4ed_O_Desafio_Do_Desenvolvimento_Sustentavel_Gisele.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2017;

BATISTA, V. R., NASCIMENTO, NASCIMENTO, J. J. S., LIMA, A.G.B. Secagem e queima de tijolos cerâmicos maciços e vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais. **Revestia Eletrônica de Materiais e Processos**. Campina Grande, n. 1, p. 46-61, 10 maio 2008. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/64/89>>. Acesso em: 30 jun. 2017;

BUSTAMANTE, G. M.; BRESSIANI, J. C. **A indústria cerâmica brasileira**. São Paulo, mai/jun. 2000. Disponível em: <http://ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n03/v5n3_5.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2017;

CAMPOS, A. R.; RIBEIRO, R. C. C.; CASTRO, N. F.; AZEVEDO, H. C. A.; CATTABRIGA, L. **Resíduos: tratamento e aplicações industriais**. In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (eds.). Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 431-492, 2014;

CONSTRUÇÃO CIVIL. DEPEC – **Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos**. Bradesco. São Paulo. Março, 2017. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_construcao_civil.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2017;

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:<
http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboot_files/gestao_20da_20agua_20na_20mineracao_20ibram.pdf >. Acesso em: 10 Mar. 2017;

ESPÍRITO SANTO. Instrução Normativa nº 019, de 17 de agosto de 2005, **Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA)**. Disponível em:
 <<https://iema.es.gov.br/instrucao-normativa-019-de-17-de-agosto-de-2005>> acesso em: 15 abr. 2017;

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente; FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em:
 <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_ceramica.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2017;

FEAM. **Guia técnico ambiental da indústria de rochas ornamentais**. Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. - Belo Horizonte: FEAM; FIEMG, 2015. 60p.: il;

FILHO, A. C.; KISTERMANM, D.; **O Setor de Rochas Ornamentais**. In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (eds.). Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 493-526, 2014;

FILHO; C. C.; **Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2016**. ABIROCHAS, Brasília, DF, informe 17 jan. 2017. Disponível:
 <http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/4062/Informe_01_2017.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017;

FOLHA VITÓRIA. **Brasil quer ser líder no mercado mundial de rochas. Estado representa 50% da produção**. Serra, ES, 14 jan. 2015. Disponível em: <
<http://www.folhavitória.com.br/economia/noticia/2015/01/brasil-quer-ser-lider-no-mercado-mundial-de-rochas-estado-representa-50-da-producao.html>>. Acesso em: 20 jun. 2017;

FRASCÁ, M. H. B. e SARTORI, P. L. P. Minerais e Rochas. In: OLIVEIRA, A M. S. & BRITO, S. N. (ed) 1998. Geologia de Engenharia. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia/ABGE. 573p;

GALETAKIS, M.; ALEVIZOS, G.; LEVENTAKIS, K. Evaluation of fine limestone quarry byproducts, for the production of building elements – an experimental approach. **Constr. Build. Mater.** 26 (2012) 122–130. In: SOARES, E. S. S. VIEIRA, R. K. Análise ambiental dos processos de beneficiamento das marmorarias da cidade de Manaus. XXXVI Encontro Nacional De Engenharia de Produção. João Pessoa, 2016;

GASPARI MENOTTI. **Fem 40/50 – Tear de mármore.** Disponível em:< <http://www.gasparimenotti.it/po/instala%C3%A7%C3%B5es-chapa-marmore/fem-4050-%E2%80%93-tear-de-m%C3%A1rmore.asp>>. Acesso em 17 de nov. 2017.

GIACONI, W. J.; **Perfil atual da indústria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES).** 1998. Dissertação (Mestrado na Área de Administração e Políticas de Recursos Minerais)– Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1998. 85p;

LEGGERINI, Maria Regina Costa. **Materiais Cerâmicos. In: Materiais Técnicas e Estruturas I.** S.I.: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2005. Cap. 2, p. 12;

LEHMKUHL, W. A. Análise **Numérica e Experimental de um Secador Contínuo Tipo Túnel Utilizado na Indústria de Cerâmica Vermelha.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004. 129 p;

LYRA, BRUNO. Rochas ornamentais geram 10% do PIB do Espírito Santo. **Portal Tempo Novo.** Serra, ES, 12 fev. 2016. Disponível em: <<https://www.portaltemonovo.com.br/rochas-ornamentais-geram-10-do-pib-do-espirito-santo/>>. Acesso em: 17 jun. 2017;

MACEDO, R. S., MENEZES, R. R., NEVES, G. A. FERREIRA, H. C. **Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha.** Cerâmica, Campina Grande, v. 54, n. 332, p. 411-417. Oct./Dec. 2008;

MEIRA, J. Argilas: o que são, suas propriedades e classificações. **Comunicações Técnicas – VISA consultores**. Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.visaconsultores.com/pdf/VISA_com09.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2017;

MERCURY, J. M. R. CORREIA, G. S. VASCONCELOS, N. S. L. S. CABRAL, A. A. J. ANGÉLICA, R. S. **Ceramic raw materials from the State of Maranhão, Brazil. Part 1: chemical and mineralogical characterization and technological properties of clays from São Luis, Rosário, Pinheiro and Mirinzal**, Ouro Preto, p. 513-521, 27 jun. 2012;

MORAES, I. **Mármore e granito: lavra, beneficiamento e tratamento de resíduos**. Dossiê técnico do Serviço Brasileiro de Resposta Técnica. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:< <http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjE>>. Acesso em: 17 abr. 2017;

MOREIRA, J. M. S. Et al. **Reaproveitamento de resíduos de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha**. UENF, 2005, p. 1-2. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v51n319/26789.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2017;

MOTTA, J. F. M. et al. As matérias-primas cerâmicas. Parte II: Os minerais industriais e as massas da cerâmica tradicional. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 1, p. 33-40, jan/fev, 2002. In SILVA, J. R. R.; Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais dos revestimentos cerâmicos, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005;

OLIVEIRA, T.; RIBEIRO, R. P.; MOREIRAS, T. F.; **Caracterização de lamas do corte de granitos com vista ao uso em obras geotécnicas**. Ciência & Engenharia, v. 25, n. 2, p. 51 – 57, jul. – dez. 2016;

PAIXÃO, L. C. C. **Aproveitamento do Lodo de Estação de Tratamento de Água em Cerâmica Vermelha**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005, p.117. In: SILVA, A. B.; Reaproveitamento da lama de aciaria com baixo teor de ferro metálico na fabricação de cerâmica vermelha. 2006. Dissertação (Mestrado na área de Análise e Seleção de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2006;

PIANARO, S. A. et al. Propriedades de matérias-primas selecionadas para a produção de grés porcelanato. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 9, n.1, p. 33-38, jan/fev, 2004. In SILVA, J. R. R.; Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais dos revestimentos cerâmicos, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005;

PONTES, I.F; STELLIN, A. J.; **aproveitamento de resíduos de serrarias na indústria de construção civil**. VII Jornadas argentinas de ingenieria de minas – buenos aires / argentina. Rio de Janeiro, 2005;

REIS, A. S., **Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em engenharia civil, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008;

REIS, A.; ALVEREZ, C. **A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais**. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. P. 514, UFES, 2007. Disponível em:<
http://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/2007_artigo_009.pdf>. Acesso em: 17 de abr. de 2017;

RIBEIRO, G. F. S. M.; TRINDADE, I. J.; CALDAS, A. S.; **Tijolos feitos do Resíduo do mármore Bege Bahia**. IV Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. COBESA; UNIFACS; 2016. Disponível em: <
<http://cobesa.com.br/2016/download/cobesa-2016/IVCOBESA-017.pdf>>. Acesso: 15 jun. 2017;

RIELLA, H. G.; FRANJNDLICH, E. U. C.; DURAZZO, M. Caracterização e utilização de fundentes em massas cerâmicas. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 7, n.3, p. 33-36, mai/jun, 2002. In SILVA, J. R. R.; Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais dos revestimentos cerâmicos, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005;

SANTOS, J. G.; SILVA, S. S. F.; NASCIMENTO, N. M. S; TRAJANO, M. F.; MELLO, V. S.; **Caracterização da lama abrasiva gerada nos processos de beneficiamento do granito: um estudo de caso na granfugi localizado em campina grande – PB.** ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Paulo, 2010. Disponível em <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STP_132_846_16994.pdf>. Acesso em: 17 de abr. 2017;

SANTOS, P. S.; **Tecnologia de Argilas:** aplicada às argilas brasileiras. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975. v. 2: Aplicações. In SILVA, J. R. R.; Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais dos revestimentos cerâmicos, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005;

SANTOS, P. S.; **Ciência e Tecnologia de Argilas.** 2 ed. v.1. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1989;

SILVA, A. B.; **Reaproveitamento da lama de aciaria com baixo teor de ferro metálico na fabricação de cerâmica vermelha.** 2006. Dissertação (Mestrado na área de Análise e Seleção de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2006;

SILVA, J. B. et al. **Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas.** Natal, RN. 2005. Cerâmica 51 (2005) 325-330;

SILVA, S. A. C. **Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 1998;

SOUSA, J. G.; **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vista a uma produção: aplicação em Cachoeiro de Itapemirim-ES.** 2007. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Análise Ambiental) – Faculdade de Engenharia UFJF, Minas Gerais, 2007;

SOUZA, J. C.; **Determinação do custo de desdobramento de blocos em serrarias de rochas ornamentais**. FIEC; UFPE; Recife, PE, 2012. Disponível em: <http://www.fiec.org.br/sindicatos/simagran/artigos_palestras/Determinacao_Custo_Desdobramento_de_Blocos_em_Serrarias_RochasOrnamentais.htm>.

Acesso em: 20 jun. 2017;

ULIANA, J. G.; BASTOS, R. S.; CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; VIEIRA, G. L.; RODRIGUES, J. A.; **Estudo comparativo da caracterização da lama do beneficiamento de rochas ornamentais com e sem granalha de aço**. Congresso Brasileiro de Concreto, IBRACON; UFES; 2013. Disponível em: <<https://lemacufes.files.wordpress.com/2012/03/estudo-comparativo-da-caracterizac3a7c3a3o-da-lama-do-beneficiamento-de-rochas-ornamentais-com-e-sem-granalha-de-ac3a7o.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2017;

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência dos materiais**. Tradução: Luiz Paulo Camargo Ferrão. São Paulo: Edgard Blucher, 1970. In SILVA, J. R. R.; Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais dos revestimentos cerâmicos, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005;

VAN VLACK, L. H. **Propriedades dos materiais cerâmicos**. Tradução: Cid Silveira e Shiroyuki Oniki. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. In SILVA, J. R. R.; Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais dos revestimentos cerâmicos, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005;

VIDAL, F. W. H.; **A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará**. São Paulo, 1995. 178p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mineral, Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://vix.sebraees.com.br/ideiasnegocios/arquivos/MARMORARIA.pdf>> Acesso em: 6 abr. 2017;

VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F.; **Beneficiamento de Rochas Ornamentais**. In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (eds.).

Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 327-398, 2014;

VIEIRA, C. M. F.; PINHEIRO, R. M.. Avaliação de argilas cauliníticas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo , v. 57, n. 343, p. 319-323, Sept. 2011 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132011000300010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 Jun. 2017;

ZEPEDA, V. **Para transformar os resíduos de marmorarias em produtos de valor**, FAPERJ, 2011. Disponível em: <<http://www.faperj.br/index.php?id=1899.2.2#topo>>. Acesso em: 4 de mar. 2017.