

**VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DAS INDÚSTRIAS DE CELULOSE
E CHAMOTE NA OBTENÇÃO DE MATERIAL DE SILICATO DE
CÁLCIO**

LORENA GONÇALVES DA SILVA FREITAS

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2015**

**VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DAS INDÚSTRIAS DE CELULOSE
E CHAMOTE NA OBTENÇÃO DE MATERIAL DE SILICATO DE
CÁLCIO**

LORENA GONÇALVES DA SILVA FREITAS

“Dissertação apresentado ao Centro de
Ciência e Tecnologia, da Universidade
Estadual do Norte Fluminense, como parte
das exigências para obtenção do título de
Mestre em Engenharia e Ciência dos
Materiais”.

Orientador: Prof. D.Sc. José Nilson França de Holanda

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2015

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DAS INDÚSTRIAS DE CELULOSE E CHAMOTE NA OBTENÇÃO DE MATERIAL DE SILICATO DE CÁLCIO

LORENA GONÇALVES DA SILVA FREITAS

“Dissertação apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais”.

Aprovada em 31 de Agosto de 2015.

Comissão Examinadora:

Profa. Marcia Giardinieri de Azevedo (D.Sc., Engenharia Química) – UENF

Prof. Angelus Giuseppe Pereira da Silva (D.Sc., Engenharia de Materiais) – UENF

Profa. Luciana Lezira Pereira de Almeida (D.Sc. Engenharia e Ciência dos Materiais) - UNESA

Prof. José Nilson França de Holanda (D.Sc., Engenharia de Materiais) – UENF
Orientador

Dedico este trabalho aos meus filhos
Cauã e Davi.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar presente em minha vida e pela sua fidelidade.

Aos meus filhos Cauã e Davi por representar a força que me motiva.

Ao meu marido Geraldo pelo apoio e companheirismo.

A minha querida avó e tia Fátima pelo apoio incondicional.

Ao meu pai José Geraldo responsável por minha educação.

Aos meus irmãos Larissa, Leandro e Lívia pelo apoio e incentivo.

A minha amiga e cunhada Verônica pelo apoio e carinho.

Ao amigo Fabrício Bagli que sempre me incentivou e me ajudou neste percurso.

Ao meu professor José Nilson pela oportunidade, confiança, conhecimento e compreensão durante a realização desse trabalho.

Ao professor Roberto Trindade por toda a sua atenção e conhecimento.

A todos os professores e funcionários do LAMAV que contribuíram com seus conhecimentos.

Aos professores Luciana Lezira, Márcia Giardinieri e Roberto Trindade por aceitarem fazer parte desta banca.

As minhas amigas Talita e Thaís pelo companheirismo e apoio sempre.

Aos meus amigos do LAMAV: Felipe, Cátia, Kelly, Dhyemilla, Tarcília que de alguma forma estiveram presentes.

A UENF pela oportunidade e apoio financeiro.

A Fíbria Celulose e a Cerâmica Sardinha pelo fornecimento das matérias-primas utilizadas nesse trabalho.

A todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

Muito Obrigada!

Sumário

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABELAS	IV
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII

	<i>Página</i>
Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações iniciais	1
2.1 Objetivos	2
3.1 Justificativas	3
Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Resíduos Sólidos	4
2.1.1 Reutilização de resíduos	6
2.2 Indústria de Cerâmica Vermelha/ Estrutural	7
2.2.1 Aspectos Históricos.....	8
2.3 Matéria Prima: Argila	10
2.3.1 Definição	10
2.3.2 Formação dos argilominerais	11
2.3.3 Propriedades e Aplicações dos argilominerais	11
2.4 Pólo de Cerâmica Vermelha.....	13
2.5 Resíduo de Cerâmica Vermelha-Chamote	14
2.5.1 Definição e Caracterização	14
2.6 Indústria de Celulose	16
2.6.1 Características da Indústria de Celulose	16
2.6.2 Processo Kraft	17

II

2.6.3 Caracterização do Grits	20
2.7 Utilização de material cerâmico para isolamento térmica	23
2.7.1 Isolação térmica	23
2.7.2 Isolante térmico	23
2.7.2.1 Classificação dos isolantes térmicos	24
2.7.2.2 Propriedades dos isolantes térmicos.....	25
2.7.3 Vantagens da utilização de materiais de construção para isolamento térmica	28
2.8 Materiais de Silicato de Cálcio	29
2.8.1 Silicato de Cálcio	29
2.8.2 Aplicações do Silicato de Cálcio	30
Capítulo 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Matéria prima	32
3.2 Metodologia	32
3.2.1 Beneficiamento	32
3.2.2 Caracterização das matérias primas.....	34
3.2.2.1 Difração de Raios X.....	35
3.2.2.2 Composição Química.....	35
3.2.2.3 Análise granulométrica e morfológica	36
3.2.2.4 Análises térmicas	36
3.3 Preparação dos materiais de silicato de cálcio.....	36
3.4 Preparação de corpos cerâmicos	38
3.5 Caracterização física e mecânica	39
3.5.1 Absorção de água	40
3.5.2 Porosidade aparente	40
3.5.3 Densidade aparente	41
3.5.4 Resistência à Tração pelo método Diametral	41
3.5.5 Sucção de água	42
3.6 Caracterização Microestrutural e de Fase	43
	44
Capítulo 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 Caracterização das Matérias-primas	44
4.1.1 Caracterização Química	44
4.1.2 Análise Mineralógica	45

III

4.1.3 Análise Granulométrica	46
4.1.4 Análises Térmicas (ATG/TG)	48
4.1.5 Análise Morfológica dos resíduos	50
4.2 Caracterização do Pó de Silicato de Cálcio	52
4.2.1 Análise de fase via difração de raios-X	52
4.2.2 Densidade Real	55
4.2.3 Análise Morfológica dos Pós de Silicato de Cálcio	55
4.3 Caracterização dos Corpos de prova	58
4.3.1 Absorção de água e Porosidade Aparente	58
4.3.2 Densidade Aparente	59
4.3.3 Sucção	60
4.3.4 Resistência à Tração de Compressão Diametral	61
4.3.5 Análise Microestrutural	62
Capítulo 5 – CONCLUSÕES	67
5.1 Conclusões	67
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

Índice de Figuras

Figura 2.1-Classificação dos resíduos quanto à origem	5
Figura 2.2-Chamote da Indústria de Cerâmica Vermelha	15
Figura 2.3-Difratograma de raio-X do resíduo chamote	16
Figura 2.4-Processo Kraft	18
Figura 2.5-Cavacos de madeira preparados para produção	18
Figura 2.6-Diagrama cíclico do processo de recuperação do Kraft	19
Figura 2.7-Morfologia das partículas de grits	22
Figura 2.8-Difratograma de raio-X para amostra de grits	22
Figura 2.9-Diagrama de fases do sistema CaO-SiO ₂	29
Figura 3.1-Fluxograma das etapas envolvidas no trabalho	31
Figura 3.2 –Resíduo Grits (in natura) da Indústria Fíbria Celulose de Aracruz - ES	32
Figura 3.3-Resíduo Chamote do Pólo Cerâmico de Campos dos Goytacazes - RJ	32
Figura 3.4- Estufa utilizada para secagem	33
Figura 3.5-Moinhos de bolas Gardelin	33
Figura 3.6-Peneria de 150 mesh	34
Figura 3.7-Resíduo Grits e Chamote (150 mesh)	34
Figura 3.8-Mistura dos Pós de Grits e Chamote	37
Figura 3.9-Material de Silicato de Cálcio obtido por sintetização de Grits e Chamote, nas temperaturas de 1000°C, 1050°C e 1100°C	38
Figura 3.10-Peças de Silicato de Cálcio após a etapa de cura	39
Figura 3.11-Etapa de cura das peças de Silicato de Cálcio	39
Figura 3.12-Paquímetro digital	40
Figura 3.13-Balança digital	40
Figura 3.14-Ensaio de compressão diametral	42
Figura 3.15-Peças de Silicato de Cálcio após ensaio de compressão diametral ...	42
Figura 4.1-Difratograma de raios-X do resíduo Grits	45
Figura 4.2 –Difratograma de raios-X do resíduo Chamote	46

Figura 4.3-Curva de distribuição de tamanho de partícula do resíduo Grits	47
Figura 4.4- Curva de distribuição de tamanho de partícula do resíduo Chamote ..	47
Figura 4.5-Curvas de Análises Térmicas Diferencial e Termogravimétrica (ATD e ATG) para o resíduo Grits	49
Figura 4.6- Curvas de Análises Térmicas Diferencial e Termogravimétrica (ATD e ATG) para o resíduo Chamote	49
Figura 4.7-Micrografias de MEV do resíduo de Grits	50
Figura 4.8- Micrografias de MEV do resíduo de Chamote	51
Figura 4.9-Micrografia Confocal do resíduo de Chamote (A) e Grits (B)	52
Figura 4.10-Difratograma de raios-X do pó de Silicato de Cálcio obtido a partir de Chamote e Grits (1000°C)	53
Figura 4.11- Difratograma de raios-X do pó de Silicato de Cálcio obtido a partir de Chamote e Grits (1050°C)	54
Figura 4.12- Figura 4.11- Difratograma de raios-X do pó de Silicato de Cálcio a partir de Chamote e Grits (1100°C)	54
Figura 4.13-Micrografia de MEV do material de Silicato de Cálcio sintetizado a 1000°C, obtido com a mistura de Grits e Chamote	56
Figura 4.14-Micrografia de MEV do material de Silicato de Cálcio sintetizado a 1050°C, obtido com a mistura de Grits e Chamote	57
Figura 4.15-Micrografia de MEV do material de Silicato de Cálcio sintetizado a 1100°C, obtido com a mistura de Grits e Chamote	57
Figura 4.16-Absorção de água das peças de Silicato de Cálcio	58
Figura 4.17-Porosidade Aparente das peças de Silicato de Cálcio	59
Figura 4.18-Densidade Aparente das peças de Silicato de Cálcio	60
Figura 4.19- Sucção das peças de Silicato de Cálcio	61
Figura 4.20-Tensão à Tração pelo método de Compressão Diametral das amostras de Silicato de Cálcio	62
Figura 4.21-Análise Morfológica da fratura da peça de Silicato de Cálcio (1000°C)	63
Figura 4.22-Análise Morfológica da fratura da peça de Silicato de Cálcio (1050°C)	64
Figura 4.23-Análise Morfológica da fratura da peça de Silicato de Cálcio (1100°C)	65

VI

Figura 4.24-Micrografia de MEV com aumento de 200X da superfície de fratura	66
Das peças de Silicato de Cálcio sintetizados com Grits e Chamote e seus respectivos EDS	

Índice de Tabelas

Tabela 2.1-Composição química de chamotes oriundos da indústria de cerâmica Vermelha	15
Tabela 2.2-Composição Química do resíduo “grits”	21
Tabela 4.1-Composição química do resíduo Grits e Chamote (% em peso)	44
Tabela 4.2-Densidade Real dos grãos de Silicato de Cálcio após síntese nas Temperaturas de 1000°C, 1050°C e 1100°C	55
Tabela 4.3-Absorção de água e porosidade das amostras de Silicato de Cálcio ...	57
Tabela 4.4-Densidade Aparente das amostras de Silicato de Cálcio	60
Tabela 4.5-Sucção das amostras de Silicato de Cálcio	61
Tabela 4.6-Tensão à Tração pelo método Diametral das amostras de Silicato de Silicato de Cálcio	62

VIII

Resumo da dissertação apresentada ao CCT-UENF como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DAS INDÚSTRIAS DE CELULOSE E CHAMOTE NA OBTENÇÃO DE MATERIAL DE SILICATO DE CÁLCIO

Lorena Gonçalves da Silva Freitas

31 de Agosto de 2015

Orientador: Prof. José Nilson França de Holanda

O processo de reaproveitamento de resíduos sólidos é relevante e evita a degradação do meio ambiente. O objetivo principal deste trabalho de dissertação de mestrado é avaliar a possibilidade de reaproveitamento de resíduo da indústria de celulose e resíduo de cerâmica vermelha (chamote) na obtenção de material de silicato de cálcio. Neste trabalho foram utilizados resíduo de chamote gerado na indústria de cerâmica vermelha da região de Campos dos Goytacazes –RJ e resíduo de grits gerado na indústria de celulose da região de Aracruz-ES. As matérias primas foram submetidas à caracterização por meio da utilização das técnicas de fluorescência de raios-X, difração de raios X e análises térmicas (ATG/DTG) e microscopia eletrônica de varredura. O resíduo grits foi utilizado como fonte de cálcio (CaO) e o chamote como fonte de sílica (SiO₂). O material de silicato de cálcio foi obtido a partir da mistura dos resíduos sólidos, na razão molar 1:1 (SiO₂):(CaO), nas temperaturas de síntese de 1000 °C, 1050 °C e 1100 °C. A análise de fases do material de silicato de cálcio sintetizado foi feita via difração de raios-X. Peças de silicato de cálcio foram produzidas por prensagem uniaxial e submetidas a etapa de cura por imersão em água. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios, tais como: massa específica aparente, absorção de água, sucção de água, resistência de tração por compressão diametral, e porosidade aparente. Os resultados experimentais indicaram que, para as condições estudadas, é possível sintetizar material de silicato de cálcio a partir da mistura de resíduo de grits como fonte de cálcio e resíduo de chamote como fonte de sílica.

IX

Abstract of dissertation presented to CCT-UENF as part of the requirements for obtaining the Master's Degree in Materials Engineering and Science.

RECOVERY OF WASTE OF CELLULOSE INDUSTRY WASTE AND CHAMOTE IN THE OBTENTION OF CALCIUM SILICATE MATERIAL

Lorena Gonçalves da Silva Freitas

August 31, 2015

Advisor: Prof. José Nilson França de Holanda

The process of recycling of solid waste is relevant and prevents the degradation of the environment. The main objective of this master's thesis work is to evaluate the possibility of recycling of cellulose industry waste and red ceramic waste (chamote) in the obtention of calcium silicate material. In this work were used chamote generated in the red ceramic industry of Campos dos Goytacazes-RJ region and grits waste generated in the cellulose industry of Aracruz-ES region. The starting materials were subjected to characterization by using techniques of X-rays fluorescence, X-ray diffraction, thermal analysis (TGA / DTG), and scanning electron microscopy. The grits waste was used as a source of calcium (CaO) and chamote as a source of silica (SiO₂). Calcium silicate material was obtained from the mixture of solid wastes in the molar ratio 1: 1 (SiO₂):(CaO), in the synthesis temperatures of 1000 °C, 1050 °C and 1100 °C. The phase analysis of the synthesized calcium silicate material was made via X-ray diffraction. Calcium silicate pieces were produced by uniaxial pressing and subjected to step curing by immersion in water. The specimens have been tested, such as bulk density, water absorption, water suction, tensile strength by diametrical compression, and apparent porosity. The experimental results indicated that, at the conditions studied, it is possible to synthesize calcium silicate material from the mixture of grits waste as a source of calcium and chamote waste as a source of silica.

Capítulo 1. Introdução

1.1- Considerações Iniciais

Destinar adequadamente os resíduos poluentes gerados nos processos industriais e evitar a degradação do meio ambiente, bem como tornar mais sustentáveis e promissoras as atividades humanas é de grande relevância na atualidade.

A indústria cerâmica tem sido evidenciada devido à possibilidade em aproveitar e valorizar resíduos sólidos. Este processo de incorporação dos resíduos poluentes é relevante devido as seguintes razões (Dondi *et. Al.*, 1997; Menezes *et. Al.*; 2007):

- a) disponibilidade da indústria cerâmica, particularmente o setor voltado para materiais para construção civil, devido à utilização de grandes quantidades de matérias-primas naturais;
- b) economia de matérias-primas naturais;
- c) não causa grandes modificações no processo produtivo;
- d) larga variabilidade da composição química e mineralógica; e
- e) possibilidade de inertização do resíduo poluente na matriz cerâmica.

No processo industrial da cerâmica vermelha percebe-se que há fabricação de peças de baixa qualidade devido às falhas e inadequações no processo produtivo. Inevitavelmente, estas peças “indesejáveis” são descartadas após o processo de queima gerando uma quantidade significativa de rejeito cerâmico, o chamote (Vieira *et al.*, 2006), material de resíduo sólido rico em SiO_2 em forma de pó fino ou granulado, cominuído geralmente em moinho de martelos (Filho, 1997).

Na produção da celulose é gerado o resíduo grits, proveniente do processo Kraft, rico em carbonato de cálcio (CaCO_3), sendo uma importante fonte de CaO (Assupção *et al.*; 1988). Para Machado *et al.* (2006) o grits apresenta grande potencial em causar danos ao ambiente como:

- a) poluição do ar pela exalação de odores, fumaça, gases tóxicos ou material particulado;

- b) poluição das águas superficiais pelo escoamento de líquidos percolados ou carreamento de resíduos pela ação das águas de chuva e poluição do solo; e
- c) poluição das águas subterrâneas pela infiltração de líquidos percolados.

Por causa desses fatores há grande dificuldade no descarte do resíduo grits, que muitas vezes é lançado em aterros ou usado como corretivo de solos. Com o intuito de minimizar os impactos ambientais e custos às empresas, buscam-se métodos alternativos e eficazes para a disposição final deste abundante resíduo.

Propõe-se no presente trabalho de Mestrado estudar a viabilidade de produção de material de silicato de cálcio (compostos do sistema CaO-SiO_2) para isolamento térmica empregando os resíduos da cerâmica vermelha (chamote) e resíduo de grits da indústria de celulose. O resíduo de grits ainda não tem sido empregado na fabricação de material para isolamento térmica (Felipe-Sesé *et al.*, 2011).

1.2 – Objetivos

O objetivo principal deste trabalho de dissertação de mestrado é avaliar a possibilidade de reaproveitamento de resíduo grits da indústria de celulose e resíduo de cerâmica vermelha (chamote) na produção de material de silicato de cálcio.

São objetivos específicos deste projeto:

- Caracterização física, química e mineralógica das matérias-primas.
- Processamento e cura de materiais de silicato de cálcio obtidos com resíduo de chamote e grits.
- Caracterização física, mecânica, microestrutural e de fases do material de isolamento térmica produzido.

1.3 - Justificativas

Pretende-se neste trabalho de Mestrado produzir material de silicato de cálcio reaproveitando resíduo da indústria de celulose e resíduo de cerâmica vermelha.

A crescente produção de celulose no Brasil gera resíduos sólidos. Neste processo é gerado o grits, composto principalmente por carbonato de cálcio, que é o responsável por impactos ambientais quando disposto indiscriminadamente, podendo poluir o ar (exalação de odores, fumaça, gases tóxicos ou material particulado) água e solo. Já no processo de produção da cerâmica vermelha há falhas e inadequações do sistema produtivo que trazem como consequências: a contribuição para o agravamento da degradação do meio ambiente; uso inadequado da matéria-prima; desperdício de energia e má conformação do produto.

Toda quantidade de resíduos gerada nas indústrias necessita ser adequadamente disposta, pois quanto maior a produção de resíduos, maiores os impactos ambientais. Portanto, faz-se necessário tanto à redução da produção destes resíduos como também o reaproveitamento, ao invés do descarte no meio ambiente. É imprescindível e um grande desafio reaproveitar tais rejeitos da indústria.

Capítulo 2. Revisão Bibliográfica

2.1- Resíduos Sólidos

A produção proeminente de resíduos sólidos constitui grande desafio na atualidade. Os problemas associados aos resíduos decorrem não só de sua geração, mas também de sua evolução qualitativa. Conforme disposto na norma brasileira ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são definidos como resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível.

Os resíduos podem ser classificados, de acordo com a ABNT NBR 10004/2004 da seguinte forma:

- CLASSE I – perigosos: são aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, ou ainda os inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos;
- CLASSE II A – não-inertes: são aqueles que não apresentam periculosidade, mas apresentam características tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- CLASSE II B – inertes: são aqueles que, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água, executando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Os resíduos sólidos ainda podem ser classificados pela origem de diferentes atividades humanas, descritos a seguir: **resíduos urbanos** (resíduos provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, da varrição, de podas e da limpeza de vias, logradouros públicos e sistemas de drenagem

urbana passíveis de contratação ou delegação a particular); **resíduos de serviço de saúde** (resíduos provenientes de qualquer unidade com atividades de natureza médico-assistencial humana ou animal; os provenientes de centros de pesquisa, desenvolvimento ou experimentação na área de farmacologia e saúde; medicamentos e imunoterápicos vencidos ou deteriorados; os provenientes de necrotérios, funerárias e serviços de medicina legal; e os provenientes de barreiras sanitárias); **resíduos sólidos industriais** (resíduos provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas ou inorgânicas em novos produtos, por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração e extração, de montagem e manipulação de produtos acabados e aqueles gerados em áreas de utilidade, apoio, depósito e de administração das indústrias e similares, inclusive resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Água - ETAs e Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs); **resíduos da construção civil** (chamados de entulhos de obras, oriundos de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, pavimento asfáltico, tubulações, entre outros). Na Figura 2.1 é apresentado um esquema de classificação dos resíduos sólidos conforme sua origem (Cabral, 2007).

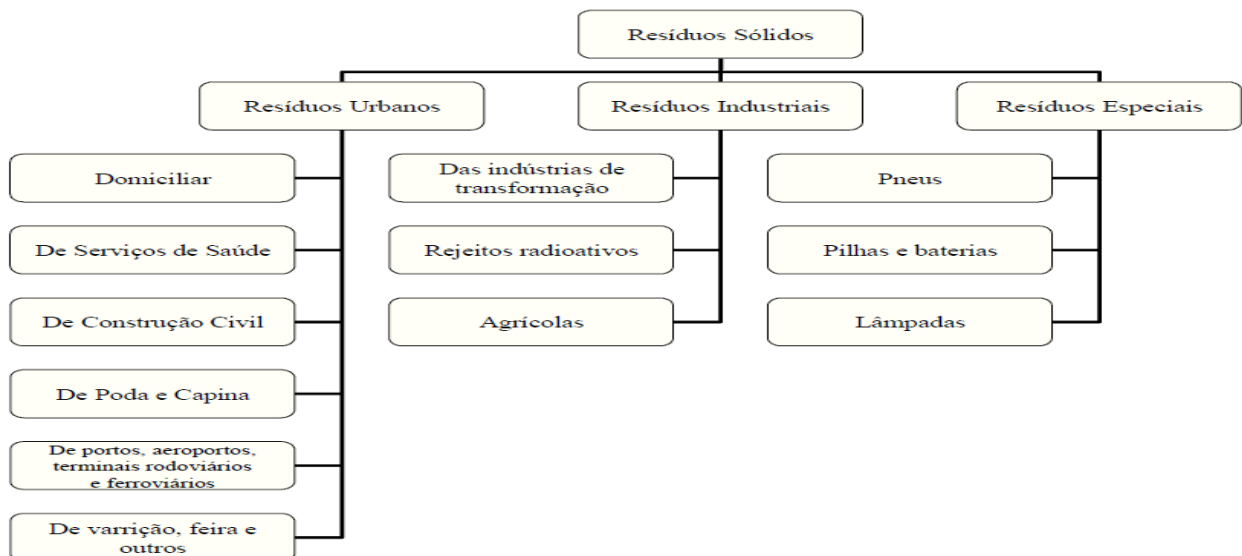


Figura 2.1 – Classificação dos resíduos quanto à origem (Cabral, 2007).

Vários processos podem ser realizados para tratamento ou disposição dos resíduos. A incineração é o processo de destruição térmica de resíduos em alta temperatura na faixa de 900 – 1200 °C. Ele é utilizado para reduzir o seu volume e destruir resíduos de alta periculosidade que necessitam de destruição segura e completa.

Já a inertização é o processo que modifica as características dos resíduos perigosos, o qual transforma os constituintes perigosos em suas formas menos solúveis e menos tóxicas. A compostagem é o processo em que ocorre a transformação da matéria orgânica que é encontrada no lixo em um composto orgânico como um adubo. Este processo proporciona um destino útil para os resíduos orgânicos, e evita sua acumulação em aterros além de melhorar a estrutura do solo. A compostagem pode ser utilizada na agricultura, em jardins e horta como adubo (Conceição, M.M; 2009).

Segundo Oliveira (2007), a estabilização/solidificação é o processo no qual o resíduo perigoso é incorporado em outros materiais para se obter uma matriz sólida altamente impermeável que fixa o resíduo dentro dessa estrutura. Nos aterros sanitários tem-se a disposição final de resíduos sólidos no terreno natural. Isto é feito através do seu confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, de modo que evite danos ou riscos à saúde pública e minimizando o impacto ambiental.

2.1.1 - Reutilização de resíduos

Entre todos os problemas que a humanidade enfrenta, um dos principais é a necessidade de minimizar os efeitos da degradação ambiental e social. Isso é possível via desenvolvimento e aplicação de pesquisas científicas e tecnológicas, que visem encontrar soluções para os problemas gerados pelo progresso e que consigam repercussões positivas para o meio ambiente e para o aprimoramento da cidadania, no sentido de obter uma melhor qualidade de vida para as próximas gerações. Dentro desse contexto, uma das questões de fundamental importância para o ser humano é a necessidade de reaproveitar, ou reciclar o lixo, os rejeitos e os resíduos por ele gerados, como forma de recuperar matéria e energia, visando minimizar a utilização de recursos naturais e uma menor degradação do meio ambiente (Pablos *et al*, 2009).

Segundo Collatto e Bergmann (2009), em relação à reciclagem de resíduos industriais, a indústria cerâmica tem grande destaque por possuir um alto volume de produção, beneficiando o reaproveitamento de resíduos. Esses resíduos são incorporados especialmente em produtos cerâmicos como tijolos, blocos e pisos, substituindo parte da matéria prima tirada diretamente da natureza e utilizada no processo de confecção desses materiais, por resíduos que contém propriedades químicas e mineralógicas, que, adicionados em quantidades apropriadas, beneficiam a produção desses produtos cerâmicos (Manhães e Holanda, 2008).

2.2 – Indústria de Cerâmica Vermelha/Estrutural

O setor industrial da cerâmica é muito versátil e tem um papel importante para a economia do país, com participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em 1%, valor equivalente a R\$ 6,0 bilhões/ano (ABC, 2013).

De acordo com Motta (2001), no Brasil os grupos cerâmicos podem ser classificados com base no emprego dos seus produtos, natureza de seus constituintes, características da massa base para os pavimentos, além de outras características cerâmicas ou técnico-econômicas sendo, portanto, uma indústria de processos químicos, onde as matérias-primas passam por uma sequência de processamentos, alterando, em cada etapa, suas características físicas e químicas, até a obtenção do produto final.

Os materiais cerâmicos, nas suas mais variadas aplicações, são amplamente usados e relacionados a um alto padrão de vida, devido às suas características que os tornam superiores a outros materiais, como valor estético e cultural, conforto, custos, porosidade que mantém o clima interior com baixa umidade, excelente isolamento térmico e acústico, resistência a altas temperaturas e à propagação do fogo, versatilidade de projetos, permitindo edifícios de até 6 andares sem o uso de estrutura de concreto (Júnior; V.M.T, 2007).

De acordo com Abiko (1988), associadas a todas estas qualidades estão à alta resistência mecânica e a durabilidade, por serem materiais quimicamente estáveis, não sendo atacados por agentes que corroem materiais orgânicos.

No Brasil, a indústria cerâmica utiliza processos manuais ou mecânicos de modelagem que podem ser por prensagem ou extrusão. As temperaturas de queima

oscilam entre 950 °C e 1250 °C, conforme a natureza da argila, do produto cerâmico, do forno utilizado e das condições econômicas do local (Santos, 1989).

Para Ramos (2000), o Brasil é um dos maiores produtores do mundo e consumidores de cerâmica argilosa. A região norte do Estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil, tem uma área de cerca de 1000 quilômetros quadrados abundante em argilas formadas por sedimentos quaternários, transportadas pelo rio Paraíba do Sul.

Na atualidade isso tem motivado o desenvolvimento de um setor de cerâmica para tijolos e telhas que compreende mais de 100 pequenas e médias indústrias com um tamanho de produção total estimado em mais de 100 milhões peças/mês. As indústrias regionais contam com um grande número de depósitos naturais de onde extraem a argila. Para a grande maioria das indústrias existentes a forma de processamento é muito empírica, o que frequentemente resulta em produtos de baixa qualidade (Vieira et al., 2007).

A abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada (ABC, 2002b).

2.2.1 – Aspectos Históricos

No desenvolvimento da humanidade, em todos os continentes, existem manifestações do uso da Cerâmica Vermelha, demonstrando sua versatilidade e aceitabilidade em diferentes culturas.

Vieira (2009) afirma que a produção da Cerâmica Vermelha acompanha a humanidade desde a pré-história. A primeira queima de argila ocorreu por volta de 23.000 a.C.. Os primeiros vestígios da produção de tijolos surgiram com a descoberta de cavernas com desenhos ilustrando o método da época para fazer tijolos e outras peças, a cerca de 6.000 a.C. A durabilidade deste material pode ser constatada pelo aspecto praticamente inalterado de construções de antigas civilizações descobertas por arqueólogos e de alguns objetos como pratos e vasos. A técnica construtiva em alvenaria de tijolos ou blocos cerâmicos remonta aos

antigos caldeus e assírios, que em torno de 4.000 a.C. já usavam este material para erguer casas e palácios.

O termo “cerâmica” vem da palavra grega “keramikos”, que significa “matéria-prima queimada”, indicando que as propriedades desejáveis desses materiais são normalmente atingidas através de um processamento térmico ou ignição (Callister,2002). Segundo Bauer (2000), o emprego de materiais cerâmicos teve início nos tempos mais primitivos da história da humanidade, quando a argila, matéria-prima exorbitante na natureza, teve sua utilização rapidamente difundida na fabricação de produtos cerâmicos que são obtidos pela moldagem, secagem e cozimento de argilas ou de misturas contendo argilas. Os objetos de argila eram, inicialmente, secos no sol, por processos relativamente simples. Porém, descobriu-se mais tarde que, colocada no fogo ou em fornos, a cerâmica se tornava muito mais resistente. Os primeiros a aperfeiçoar a tecnologia de fabricação da porcelana de alta qualidade foram os chineses por volta do século VI. No Brasil, a cerâmica tem seus primórdios na Ilha de Marajó. Estudos arqueológicos, demonstram a presença de uma cerâmica mais simples, que indica ter sido criada na região amazônica por volta de cinco mil anos atrás. A cerâmica marajoara era altamente elaborada e de uma especialização artesanal que compreendia várias técnicas: raspagem, incisão, excisão e pintura. A modelagem é tipicamente antropomorfa, embora haja exemplares de cobras e lagartos em relevo. De outros objetos de cerâmica, destacavam-se bancos, estatuetas, rodela de fuso, tangas, colheres, adornos auriculares e labiais, apitos e vasos miniatura. Mesmo desconhecendo o torno e operando com instrumentos rudimentares, os indígenas criaram uma cerâmica de valor, que dá a impressão de superação dos estágios primitivos da Idade da Pedra e do Bronze.

2.3 – Matéria-Prima: Argila

2.3.1 – Definição

A argila é a principal matéria-prima empregada na indústria de cerâmica vermelha ou estrutural e é definida como uma rocha finamente dividida, constituída essencialmente por minerais argilosos (argilominerais), podendo conter outros minerais, os minerais não argilosos, matéria orgânica e outras impurezas. Segundo a ABNT (NBR 6502/95), as argilas são compostas por partículas de diâmetro inferior a 0,002 mm, que apresentam plasticidade quando úmidas e quando secas formam torrões dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos. Para Gomes (1980) nenhum material extraído da terra tem tantas e tão variadas aplicações como a argila. A maioria das aplicações da argila situa-se no domínio da cerâmica onde suas propriedades básicas são a plasticidade e o endurecimento quando queimada.

O termo argila não tem significado genérico. É usado para os materiais que resultam diretamente da meteorização e/ou da ação hidrotermal ou que se depositaram como sedimentos fluviais, marinhos, lacustre ou eólico (Gomes, 1980). São materiais de textura terrosa e granulometria fina que se tornam plásticos quando adicionados com pequenas quantidades de água (Santos, 1989).

Uma argila qualquer pode ser composta por partículas de um argilomineral ou por uma mistura de vários argilominerais. Suas propriedades e características variam de acordo com seus componentes e tipo de formação (Santos, 1989). Isto faz com que existam inúmeras denominações e nomenclaturas para as argilas de acordo com a região onde são encontradas e tipo de utilização a que são destinadas.

Podem-se definir os argilominerais como minerais constituintes e característicos das argilas, geralmente cristalinos, que quimicamente são silicatos hidratados podendo conter cátions. Segundo Santos (1989), argilominerais são silicatos hidratados com estrutura cristalina em camadas (filossilicatos) constituídas por folhas constituídas de SiO ordenados de forma hexagonal, condensados com folhas octaédricas de hidróxidos de metais de trivalentes; os argilominerais são constituídos por partículas (cristais) de pequenas dimensões.

Na Indústria de Cerâmica Vermelha as matérias-primas passam por uma sequência de processamentos, alterando, em cada etapa, suas características físicas e químicas, até a obtenção do produto final. Diversos estudos desenvolvidos em centros de pesquisa de todo o país consideraram a possibilidade de reaproveitamento de resíduos de outras indústrias como matéria-prima na confecção dos produtos de cerâmica vermelha (Junior; V.M.T, 2007).

2.3.2 – Formação dos argilominerais

A formação de argilominerais se dá por meteorização e erosão das rochas expostas à superfície.

Os processos intempéricos consistem na quebra e alteração de materiais próximos à superfície da Terra a produtos que estão em maior equilíbrio com as condições físico-químicas impostas recentemente. Através dos processos intempéricos, minerais primários, constituintes das rochas, são decompostos, liberando substâncias que, dependendo do ambiente, se recombina originando argilominerais. Estes minerais podem permanecer nos locais onde foram formados ou podem ser transportados, por vários processos geológicos, depositando-se em vários ambientes, vindo a constituir depósitos de argilominerais transportados. Estes depósitos podem pertencer a períodos geológicos diferentes e possuir composições diversas (Santos;1989).

2.3.3 – Propriedades e aplicações dos argilominerais

Não é possível descrever uma argila por um número pequeno de propriedades. Suas propriedades estão diretamente relacionadas com suas aplicações, são elas: tamanho das partículas e superfície específicas, capacidade de troca ou permuta de íons, plasticidade, a forma dos cristais, retração, refratariedade (Menezes; 2007).

A granulometria é uma das características mais importantes dos materiais argilosos e que domina muitas de suas propriedades. Em geral, nas massas argilosas, um aumento da percentagem de partículas finas corresponde a um aumento de plasticidade. A distribuição dimensional das partículas também é muito importante. Quanto maior a superfície específica, maior é a quantidade de água que se pode fixar na superfície disponível (Menezes; 2007).

A forma dos cristais também implica em suas propriedades. O hábito lamelar dos argilominerais é um fator muito influente na plasticidade juntamente com a fácil clivagem basal.

De acordo com Santos (1989), a capacidade de troca catiônica representa uma propriedade importante, visto que os íons permutáveis influem poderosamente sobre as suas propriedades físico-químicas e tecnológicas. Podem-se modificar as propriedades plásticas e outras propriedades de uma argila pela permuta do íon adsorvido. Os argilominerais apresentam íons fixados na superfície, entre camadas e dentro de canais da estrutura cristalina que podem ser trocados por reações químicas, por outros íons em solução aquosa sem que isso venha trazer modificação de sua estrutura cristalina. A capacidade de troca iônica corresponde, a quantidade de íons, particularmente cátions, que um argilomineral pode adsorver ou trocar e está relacionado ao desequilíbrio de suas cargas elétricas motivadas particularmente pelas substituições atômicas isomórficas, com isso, determinadas propriedades são influenciadas.

O pH de argilas é provavelmente uma das medidas mais informativas que pode ser feita para determinar as suas características, e indica muito mais do que simplesmente sua acidez ou basicidade. O valor do pH da argila é um indicativo da sua capacidade de retenção de cátions ou de ânions, além de estar relacionado com a presença de Fe_2O_3 e Al_2O_3 , matéria orgânica e com a concentração de bases (Ca, Mg, K e Na) (Tomé; J., 1997).

A característica de maior interesse da indústria cerâmica é a plasticidade. Esta propriedade permite a moldagem ou conformação da peça de acordo com as especificações da norma.

Segundo Pracidelli (1990), a plasticidade é a propriedade que um sistema possui de se deformar pela aplicação de uma força e de manter essa deformação quando a força aplicada é retirada. A plasticidade da argila é determinada pelo tamanho e forma da partícula, tipo de argilomineral, e a presença relativa de sais solúveis, íons absorvidos, e matéria orgânica.

As argilas constituem a composição total ou parcial da composição das massas na produção e apresentam uma enorme gama de aplicações, tanto na área de cerâmica como em outras áreas tecnológicas. São mais adequadas à fabricação dos produtos de cerâmica vermelha pois apresentam em sua constituição os argilominerais illita, de camadas mistas, illita-montmorilonita e clorita-montmorilonita,

além de caulinita, pequenos teores de montmorilonita e compostos de ferro. As argilas para materiais refratários são essencialmente cauliníticas, devendo apresentar baixos teores de compostos alcalinos, alcalino-terrosos e de ferro; podendo conter ainda em alguns tipos a gibbsita. As argilas para cerâmica branca são semelhantes às empregadas na indústria de refratários; sendo que para algumas aplicações a maior restrição é a presença de ferro e para outras, dependendo do tipo de massa, além do ferro a gibbsita. No caso de materiais de revestimento são empregadas argilas semelhantes às utilizadas para a produção de cerâmica vermelha ou as empregadas para cerâmica branca e materiais refratários (Pracidelli; 1990).

2.4 – Pólo de Cerâmica Vermelha / Campos dos Goytacazes – RJ

O município de Campos dos Goytacazes é tradicionalmente um grande pólo de produção de cerâmica vermelha (blocos cerâmicos, tijolos, telhas, ladrilhos rústicos, elementos vazados e outros) do estado do Rio de Janeiro (Saboya et al.; 2007). Mais de 100 das indústrias de cerâmica vermelha de Campos dos Goytacazes são sindicalizadas, gerando cerca de R\$ 168 milhões por ano, com uma produção estimada em 75 milhões de peças por mês. A produção das empresas é baseada em lajotas para lajes, tijolos e telhas, segundo informações do Sindicato dos Ceramistas de Campos. A produção é basicamente vendida para os mercados da Zona da Mata Mineira e Espírito Santo (Ramos et. al., 2000).

De acordo com a Associação Nacional da Indústria Cerâmica – ANICER (2011), algumas dessas indústrias cerâmicas de menor porte apresentam até 10% de perda da produção somente na etapa da queima. Esta situação leva ao descarte de quantidade significativa de peças, principalmente após o processo de queima, e estimula a busca por alternativas de reuso do chamote. Cerca de 900 toneladas de resíduos de tijolos são geradas a cada mês por indústrias locais.

De acordo com Souza e Arica (2006), a produção de cerâmica é uma atividade de grande importância para a economia do Município, pois responde por aproximadamente 5% dos postos de trabalho da população economicamente ativa do município, o que representa algo em torno de 5.000 empregos diretos, distribuídos no pólo cerâmico.

2.5 – Resíduo de Cerâmica Vermelha – Chamote

2.5.1 - Definição e Caracterização

Soibelman (1993) classifica as perdas na produção de acordo com:

1) Natureza: perdas de natureza aparente (um material é danificado e não pode ser utilizado ou é perdido no processo de construção) ou de natureza oculta (perda econômica resultante da utilização de material em excesso ou de forma diferente da prevista);

2) Controle: perdas evitáveis (decorrente inadequado do emprego de materiais e componentes, roubos, etc) ou perdas inevitáveis (sinônimo de perda natural); e

3) Incidência: as perdas podem ocorrer em diferentes etapas do processo de produção, desde o transporte externo passando pelo recebimento estocagem, transporte interno até chegar ao momento de suas aplicações.

Donde et al (1997) define chamote (Figura 2.2) como um subproduto proveniente de rejeitos de material cerâmico após a queima. As perdas nos processos e conseqüentemente produção do chamote não devem ultrapassar certo limite de aceitabilidade (Rocha, 2006).

Segundo Vieira (2004), em Campos dos Goytacazes – RJ as cerâmicas que adotam critérios para o controle de qualidade apresentam baixa perda na etapa de queima entre 0,5 % e 1 %. No entanto, aquelas empresas que não adotam critérios para o controle de qualidade apresentam até 10 % de perda na produção somente na etapa de queima.



Figura 2.2 – Chamote da Indústria de Cerâmica Vermelha (IPC, 2014).

A composição química do chamote depende da argila que o originou (Guedes, 2014). A caracterização do resíduo chamote de cerâmica vermelha realizada por Mello (2008), indica que o chamote é um material rico em SiO_2 (X %), Al_2O_3 (20 - 25 %) e em Fe_2O_3 (7 – 10 %). O teor de óxido de ferro é responsável pela coloração avermelhada do chamote. Segundo Vieira et al (2009), a utilização de chamote em cerâmica vermelha pode ter reflexos positivos sobre todo o processo produtivo, pois, apresenta uma granulometria mais grosseira que a da argila, o que pode favorecer o grau de empacotamento. Além disso, devido à morfologia das partículas, contribui significativamente para facilitar a etapa de secagem. A Tabela 2.1 apresenta a composição química de vários chamotes de cerâmica vermelha.

Tabela 2.1 – Composição química de chamotes oriundos da indústria de cerâmica vermelha (% em peso).

CHAMOTE	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Outros
Vieira et al (2004)	55,98	25,36	9,57	1,32	2,24	0,64	0,37	0,97	3,55
Melo et al (2006)	52,79	26,57	7,55	0,51	3,65	3,00	1,70	2,94	1,29
Gouveia (2008)	64,06	17,62	10,89	1,67	1,23	0,17	0,61	0,77	2,98

A presença de sílica no resíduo de chamote é comprovada, apresentando em forma de quartzo, através do difratograma mostrado na Figura 2.3 (Vieira e Monteiro, 2007).

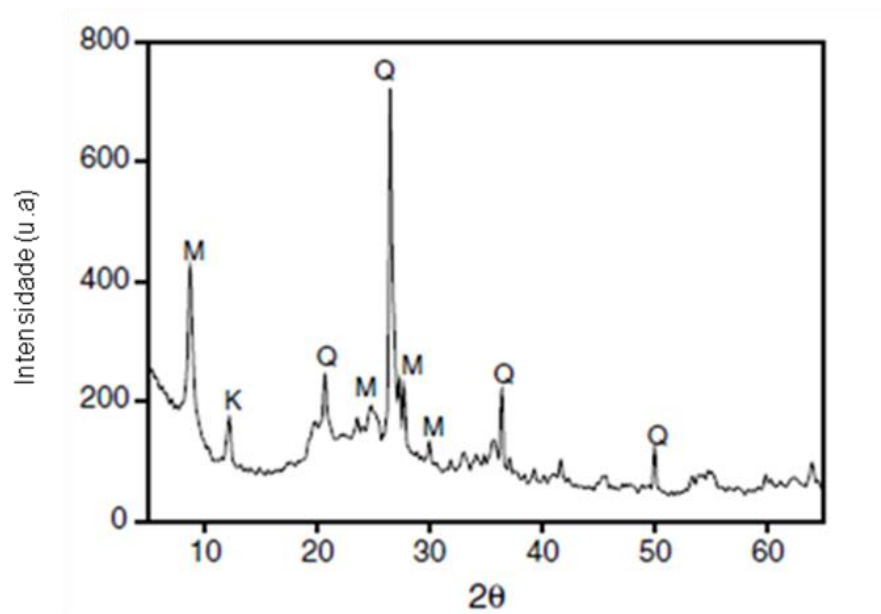


Figura 2.3 - Difratograma de raios-X do resíduo de chamote. K- Caulinita; Q- Quartzo; M –mica muscovita (Vieira e Monteiro, 2007).

Para Campelo (2006), o reaproveitamento do chamote torna-se uma alternativa de baixo custo e sustentável, porém a quantidade de resíduo a ser adicionada à massa cerâmica precisa ser avaliada para não prejudicar o processo de queima das peças.

2.6 – Indústria de Celulose

2.6.1 – Características da Indústria de Celulose

A indústria de celulose é de grande relevância para a economia do país. Segundo Piotto (2003) existem muitos métodos diferentes para a preparação de pasta celulósica, desde os puramente mecânicos até os químicos, nos quais a madeira é tratada com produtos químicos sob pressão e pela ação de calor (temperaturas maiores que 150° C), para dissolver a lignina, havendo inúmeras variações entre os dois extremos.

O principal processo utilizado para a obtenção de celulose é o “Kraft”. Para Shereve e Brink Jr.(1997), o processo *Kraft* é um processo alcalino responsável pela maior parte da polpa. A produção de celulose pelo método Kraft (forte, em alemão) é o dominante no Brasil e no mundo em geral pelo fato de gerar poucos resíduos além de que o licor negro, principal subproduto do processo, pode ser totalmente reaproveitado, o que torna este processo ecologicamente correto.

2.6.2 – Processo Kraft

Piotto (2003) define o processo kraft (Figura 2.4) como um processo químico que visa dissolver a lignina, preservando a resistência das fibras, obtendo-se dessa maneira uma pasta forte (Kraft), com rendimento entre 50 a 60%. É muito empregado para a produção de papéis cuja resistência é o principal fator, como para as sacolas de supermercados, sacos para cimento, etc. Segundo Shereve e Brink Jr. (1997) neste processo usa-se uma pré-hidrólise, para remover as pentosas e as poliozes, que é seguida por um tratamento de sulfato (sulfato de sódio impuro), seguido de um alvejamento em várias etapas.

Este processo separa a celulose da lignina através do cozimento dos cavacos de madeira de aproximadamente 1 cm (Figura 2.5), em temperaturas que variam de 160°C a 170°C na presença de licor branco. O licor branco é uma solução fortemente alcalina (pH 14), sendo seus componentes ativos, o hidróxido de sódio e o sulfeto de sódio. Durante o cozimento, as fibras são separadas por meio da dissolução da lignina e de parte das hemiceluloses no licor de cozimento, transformando-o em licor negro (Gullichen e Fogelholn, 2000).

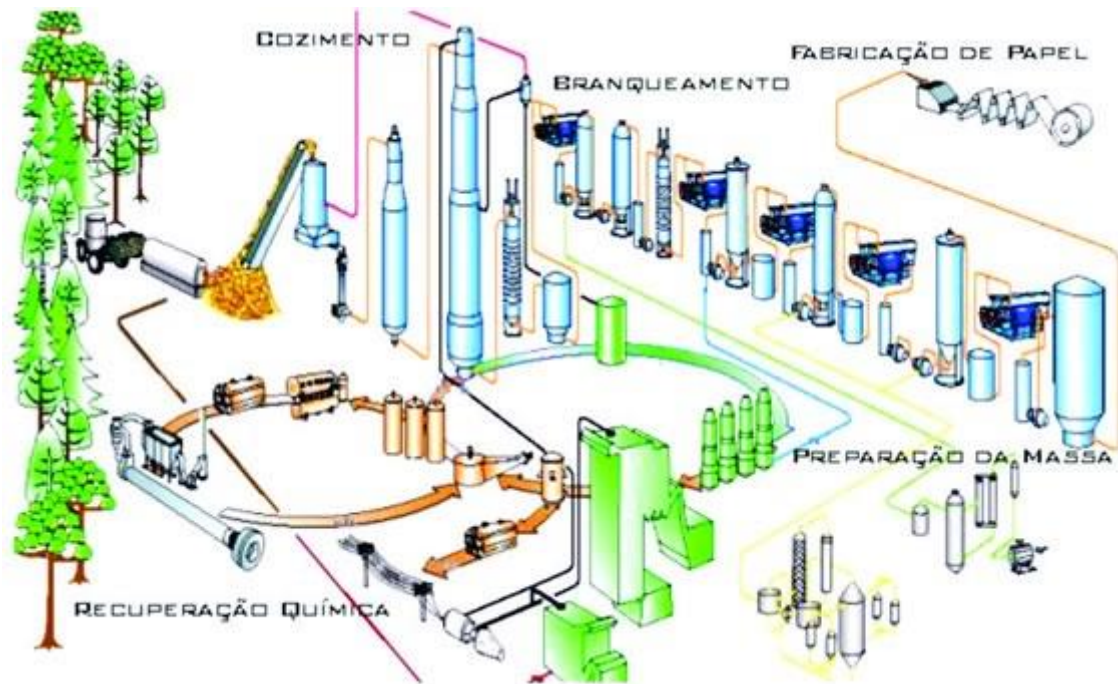


Figura 2.4 – Processo Kraft (FATEB, 2013).



Figura 2.5 – Cavacos de madeira preparados para a produção (Instituto Carbone Brasil, 2014).

A produção da celulose pelo método *kraft* envolve matéria-prima, energia, insumos, resíduo, produtos e emissões.

A recuperação química (Figura 2.6) é uma etapa responsável pela viabilidade econômica do processo. Segundo Lima (2006), o licor utilizado é extraído do processo passando a ter denominação de licor preto. Este é concentrado na evaporação e queimado em uma caldeira redutora denominada “caldeira de recuperação química”. Esta caldeira possui duas funções principais: a) queimar o

material orgânico produzindo CO_2 e H_2O ; b) produzir um "smelt" inorgânico composto de carbonato de sódio (Na_2CO_3) e sulfeto de sódio (Na_2S), que é dissolvido em licor branco gerando o chamado "licor verde" (Gulichen e Fogelholn, 2000). O ciclo de recuperação se completa no sistema de reatores de caustificação, composto de um reator de apagamento seguido por vários reatores de caustificação.

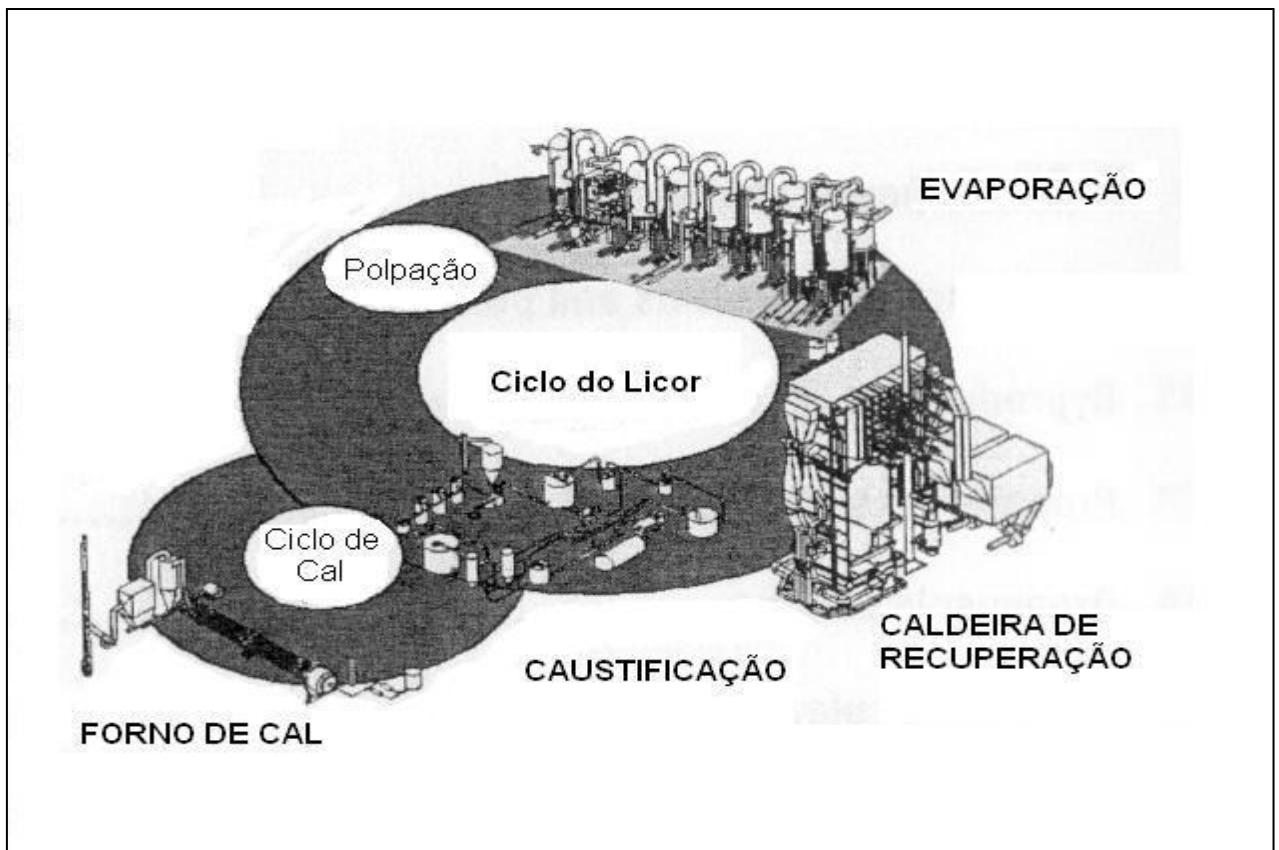
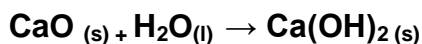


Figura 2.6 - Diagrama cíclico do processo de recuperação Kraft (Gulichen e Fogelholn, 2000).

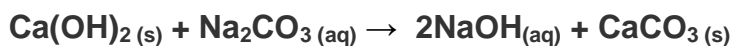
Segundo Andreola et al (2000), no reator de apagamento ocorre formação de hidróxido de cálcio, segundo a reação 1 e, simultaneamente, a formação de hidróxido de sódio (reação de caustificação) segundo a reação 2, estendem-se ao longo dos vários reatores de caustificação. A reação 1 é fortemente exotérmica e tem rendimento máximo em torno de 70% (Andreola et al; 2000).

- Reação (1)



A reação 2 é fracamente exotérmica (Andreola et al; 2000).

- Reação (2)



O processo de caustificação do licor verde tem dois objetivos: produzir licor branco para o cozimento da madeira e produzir lama de cal para o forno de cal (Gullichen e Fogelholn, 2000). Durante a caustificação são gerados duas correntes distintas: lama de cal (enviada para o forno de cal) e a de sólidos inertes (grits), que são extraídos do processo e constituem-se nos principais pontos de purga dos materiais inertes do processo (Gullichen e Fogelholn, 2000 e Andreola et al; 2000).

Segundo Modolo (2006), o grits tem sua origem no forno da cal e na preparação de hidróxido de cálcio para a caustificação do licor verde. Considerando-se que a lama de cal possui sódio residual e que no forno de cal atingem-se temperaturas em torno de 1200°C, este material fundido provoca a granulação da cal, ocasionando a formação do grits, que são posteriormente recolhidos e retirados do processo.

2.6.3 – Caracterização do Grits

O grits é classificado, através da análise dos extratos lixiviados e solubilizados, como classe IIA, isto é, resíduo não-perigoso e não inerte (SOUZA e CARDOSO, 2008; MACHADO et al., 2006).

A composição química do resíduo grits utilizado neste trabalho é apresentado na Tabela 2.2. Os resultados mostram o resíduo grits é constituído predominantemente de CaO com cerca de 68,665 % em peso, apresenta também quantidades pouco consideráveis de SO₃ com 1,057 % em peso, K₂O com 1,039% em peso, SrO com 0,155 % em peso e ZrO₂ com 0,006 % em peso (Siqueira, 2012).

Segundo Carvalho e Almeida (1997), com relação à perda ao fogo, verifica-se que é relativamente alta, da ordem de 29,078 % em peso, devido principalmente a liberação de CO₂ proveniente da decomposição de calcita para formação de CaO.

Compostos	Resíduo grits (% em peso)
K₂O	1,039
SO₃	1,057
CaO	68,665
ZrO₂	0,006
SrO	0,155

Tabela 2.2 - Composição Química do resíduo “grits” - % em peso - (Siqueira, 2012).

Segundo Machado et al. (2007) o grits constitui-se de areia, pedregulho, calcário (CaCO₃) e outras impurezas, podendo possuir, também, quantidades de CaO, Ca(OH)₂ e Na₂CO₃. Os resultados obtidos por meio de análise granulométrica apresentam faixas granulométricas semelhantes às areias e britas naturais, sendo possível substituir os agregados naturais utilizados na dosagem de concretos e argamassas pelo resíduo (Souza e Cardoso, 2008).

Em função da origem do grits o mesmo apresenta soda cáustica residual proveniente do ciclo de recuperação. A soda cáustica residual deve ser eliminada do grits por duas razões principais: i) evitar acidentes (queimaduras químicas) durante o manuseio e; ii) evitar o excesso de álcalis no concreto, que deve ser mantido abaixo de 0,6% para evitarem-se as reações álcali-agregado (RAA) (Metha e Monteiro, 1994).

Na Figura 2.7 são apresentados os aspectos morfológicos das partículas do pó do resíduo grits que, consiste basicamente de partículas com morfologia irregular e textura suave. Percebe-se que o pó de resíduo grits apresenta uma larga distribuição de tamanho de partículas, comprovando os dados granulométricos do resíduo. Isto se deve ao processo de obtenção do resíduo durante o processo Kraft para produção de celulose (Siqueira, 2012).

Segundo Siqueira (2012) identifica-se, através do difratograma de raios-X para a amostra do resíduo sólido grits (Figura 2.8), as seguintes fases cristalinas: calcita (CaCO₃), wustita (FeO), pirsonita (CaNa₂(CO₃)₂·2H₂O) e portlandita

($\text{Ca}(\text{OH})_2$). O resíduo sólido grits é rico em materiais a base de cálcio, sobretudo calcita (CaCO_3).

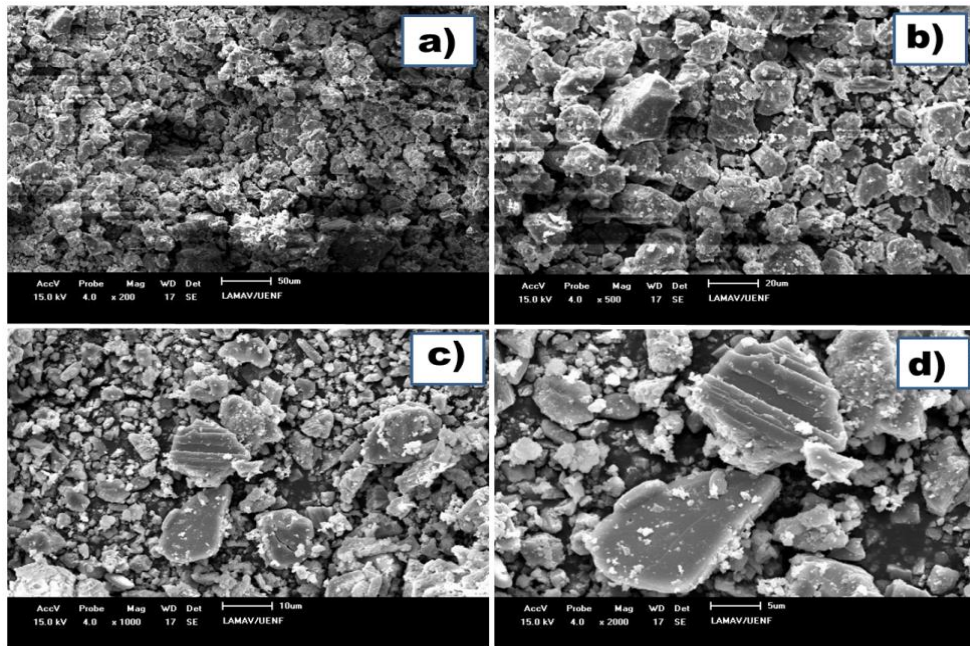


Figura 2.7 – Morfologia das partículas do resíduo grits: (a) 200X; (b) 500X; (c) 1000X; d) 2000x.

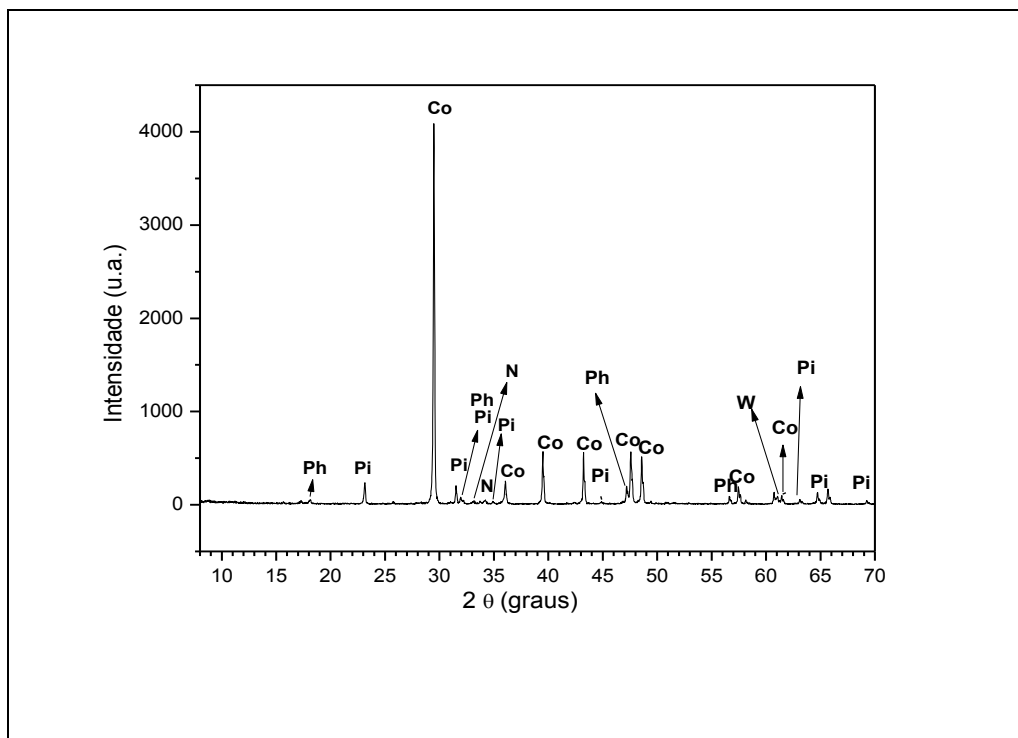


Figura 2.8 – Difratoograma de raios - X para a amostra de resíduo grits: Co = CaCO_3 ; W = FeO ; N = Na_2CO_3 ; Pi = $\text{CaNa}_2(\text{CO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Ph = $\text{Ca}(\text{OH})_2$

2.7 - Utilização de Material cerâmico para isolamento térmica

2.7.1 – Isolação Térmica

As trocas térmicas podem ocorrer através dos mecanismos de condução, convecção e radiação (Frota & Schiffer, 2001). As trocas de calor podem definir o nível de conforto térmico de um ambiente devido às variações de temperaturas.

Callister (2002) define condução térmica como o fenômeno em que o calor é transportado a partir de regiões de alta temperatura para regiões de baixa temperatura de uma substância. A troca de calor por condução é responsável pela chegada e saída de calor nos ambientes devido às trocas de calor decorrentes do contato entre superfícies. Assim, os materiais compõem as superfícies como paredes, piso e cobertura são imprescindíveis para a garantia de um ambiente confortável do ponto de vista térmico.

Materiais isolantes térmicos devem ter a mais baixa condutividade térmica possível. São materiais utilizados para reduzir ou eliminar as trocas de calor indesejáveis no interior de um ambiente, mantendo a temperatura constante.

Segundo Neira (2005), o setor industrial vem se preocupando cada vez mais com o “desperdício de energia” fazendo com que a palavra “energia” adquira um novo sentido, um tanto diferente do utilizado há algumas décadas atrás. Este sentimento de economia vem sendo compartilhado por diversos setores da sociedade, que vem buscando formas racionais para a utilização da energia a fim de reduzir as perdas ou transferências energéticas de forma mais eficiente. Sendo assim, a principal finalidade da isolamento térmica é reduzir ao máximo as trocas térmicas indesejáveis, para isso torna-se necessário o uso de materiais adequados conhecidos como Isolante Térmico.

2.7.2 – Isolante Térmico

Isolante térmico é um material ou estrutura que dificulta a dissipação de calor, usado na construção e caracterizado por sua alta resistência térmica. Ele é capaz de reduzir ou eliminar as trocas de calor indesejáveis, mantendo a temperatura

constante. Segundo Kreith (2008) isolante térmico é definido como sendo um material capaz de retardar o fluxo de calor entre dois meios. Os materiais porosos são excelentes isolantes térmicos devido à baixa condutividade térmica do ar contido nos vazios, pois nestes vazios ficam confinados gases de baixa condutividade térmica induzindo um aumento na eficiência da isolação.

Para Frota & Schiffer (2001), o calor é transferido naturalmente do ambiente mais quente para o ambiente mais frio. Essas trocas térmicas podem ocorrer através dos mecanismos de condução, convecção e irradiação.

De acordo com Cunha e Neumann (1979) para reduzir a transferência de calor entre corpos de diferentes temperaturas deve-se instalar entre eles um material de baixa condutividade térmica, embora não existam materiais isolantes perfeitos, que possam barrar completamente a transferência de calor.

2.7.2.1 – Classificação dos Isolantes Térmicos

Em virtude do grande avanço tecnológico e da descoberta de novos materiais, a indústria tem buscado o melhoramento do seu sistema de isolamento. Com isso, novos tipos de isolamentos são estudados continuamente.

Os Isolantes Térmicos podem ser classificados como: isolante mineral, isolante natural e isolante sintético:

- **Isolante Mineral:** Apresenta origem mineral, os principais são o silicato de cálcio, o amianto, a lã de rocha e a lã de vidro, sendo esses dois últimos comercializados em forma de mantas, altamente empregados na construção civil para isolamento de ambientes. Segundo Mendes (2004) a lã de vidro pode ser obtida através da fusão de rochas basálticas, o qual torna-se um isolante térmico amplamente utilizado na forma de mantas em forros de coberturas na construção civil. Garcia et al. (2004) utilizaram lã de rocha para isolamento térmico de forno elétrico tubular, dimensionado para fornecer temperatura máxima de 1200 °C na parte central do tubo. O amianto é uma fibra mineral natural pertencente ao grupo dos silicatos cristalinos hidratados. Sua aplicação é feita por jateamento de fibras e pó de amianto (Martines, 2008). Já o silicato de cálcio apresenta alta resistência mecânica, excelente desempenho térmico, totalmente isento de amianto e inércia química. É o material ideal para aplicações em tubulações e equipamentos.

- **Isolante Natural:** Grande variedade de matérias-primas podem ser empregadas como isolantes térmicos, tendo em vista que muitos desses materiais in natura apresentam baixa condutividade térmica. As fibras vegetais naturais estão sendo amplamente empregadas no isolamento térmico, pois apresentam inúmeros espaços vazios em sua estrutura, reduzindo a condutividade térmica da fibra, possibilitando seu emprego como isolante (Neira, 2005). O uso das fibras naturais apresenta vantagens devido ao fato destas serem abundantes e de rápida renovação. A desvantagem é a não uniformidade de propriedades que estão diretamente ligadas à origem das fibras, da região de plantio e da habilidade manual durante a colheita e a alta absorção de umidade das fibras, que pode ocasionar inchaço destas após a aplicação como isolante (Silva, 2003). Vários outros materiais naturais secos como algodão, palha do milho, casca do arroz, bagaço da cana-de-açúcar, capim e sisal podem ser utilizados para isolamento térmico (Santos et al, 2002).
- **Isolante Sintético:** Os polímeros, conhecidos como isolantes térmicos sintéticos são classificados em quatro grupos: termoplásticos (plásticos), termofixos, borrachas e fibras. Termoplástico é um material que, a uma dada temperatura, apresenta alta viscosidade podendo ser conformado e moldado. Polipropileno (PP), polietileno (PE), policloreto de vinil (PVC), politereftalato de etileno (PET) e poliestireno (PS) são exemplos de isolantes termoplásticos, os quais são moldáveis a quente, resistentes ao impacto, possuem baixa densidade e baixo custo (Spinacé e Paoli, 2005). Os termofixos apresentam rigidez não se alteram com a temperatura.

2.7.2.2 – Propriedades dos Isolantes Térmicos

Segundo González Cruz (2002), as recomendações sobre os materiais a serem utilizados na construção de edificações, muitas vezes, tratam apenas de uma das suas características térmicas. Mas não é possível basear-se em somente uma de suas propriedades térmicas, de forma independente, uma vez que todo o material combina essas propriedades como uma unidade. As propriedades que um material deve possuir para ser considerado um bom isolante térmico são: baixa condutividade térmica; boa resistência mecânica; baixa massa

específica; baixa difusividade térmica; alto calor específico; resistência à combustão; pequena expansão térmica; estabilidade química e física; resistência específica ao ambiente de utilização; facilidade de aplicação; resistência ao ataque de roedores, insetos e fungos; baixa absorção de umidade; ausência de odor e baixo custo. Sendo praticamente impossível dispor de um material que possua todas essas qualidades, deve-se procurar por um que satisfaça o maior número de características descritas (Torreira, 1980).

As características térmicas fundamentais dos materiais são: condutividade térmica, calor específico, difusividade térmica e a efusividade térmica (González Cruz, 2002). Estas propriedades são de grande importância para caracterizar um material como bom ou mau isolante térmico.

- **Condutividade térmica (k):** Expressa a quantidade de calor transmitida através de um corpo homogêneo, por unidade de tempo, espessura, área e gradiente de temperatura (W/m.K). Ela é considerada uma propriedade fundamental de um material. Os polímeros amplamente utilizados como isolantes térmicos, como, por exemplo, o poliestireno expandido e os poliuretanos, possuem condutividade térmica na ordem de 0,3 W/m.K (Callister, 2002). Os materiais com baixos valores de condutividade térmica são caracterizados como isolantes térmicos. Essa propriedade é melhor definida na Lei de Fourier-Biot, pela equação (VanWylen e Sonntag, 1976):

(2.1)

$$q_k = -K_t \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

q_k = Taxa de transferência de calor (W)

K_t = Condutividade Térmica (W/m.K)

A = Área da seção transversal, normal à direção do fluxo de calor (m^2) dT/dx = Gradiente de temperatura na seção (K/m).

- **Capacidade térmica (C):** Propriedade que indica a capacidade de material absorver calor a partir das circunvizinhanças externas. É a quantidade de energia requerida para elevar unitariamente a temperatura (Callister,

2002). A unidade de capacidade calorífica é dada em J/m³.K. A capacidade térmica total de um material pode ser afetada por outros mecanismos. Na maioria das vezes, entretanto, estes mecanismos são minoritários se comparados à influência exercida pelo movimento vibracional da rede atômica (Ford, 2011). VanWylen e Sonntag (1976) afirmam que o calor específico de uma substância pode ser definido em termos da transferência de calor e expresso pela seguinte equação:

(2.2)

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

C_p = Calor específico a pressão constante (J/kg.K).

h = Entalpia específica (J/kg)

T = Temperatura (K)

- **Difusividade térmica (α):** Segundo Neira (2005) e Borges (2009) a difusividade térmica determina a relação entre a capacidade que o material tem de conduzir e sua capacidade de armazenar energia. Sendo assim, quanto maior for a difusividade, mais rapidamente os materiais respondem às variações do ambiente térmico, ou seja, uma alta difusividade implica em um mais rápido aquecimento. De acordo com Andrade et al (2004) materiais com alto valor de difusividade térmica respondem mais rapidamente às variações térmicas do ambiente. A difusividade térmica é expressa pela equação (Incropera e Dewitt, 1998):

(2.3)

$$\alpha = \frac{K_t}{\rho \cdot C_p}$$

K_t = Condutividade térmica (W/m.K)

ρ = Massa específica (kg/m³)

c_p = Calor específico (J/kg.K)

α = Difusividade térmica (m²/s)

- **Efusividade Térmica (ϵ):** Segundo Effting (2008) a efusividade térmica caracteriza quão facilmente o calor pode ser absorvido pela superfície do material. A efusividade tende a ser alta quando tanto a condutividade térmica quanto a capacidade térmica são altas. A efusividade térmica (ϵ) expressa a capacidade de um material para absorver ou restituir um fluxo de calor. Esta propriedade caracteriza como facilmente o calor pode ser absorvido pela superfície do material e é determinada pela equação 2.4 (Corbella e Yannas, 2003):

(2.4)

$$\epsilon = \sqrt{k\rho c}$$

ϵ - Efusividade térmica do material ($Ws^{1/2}/m^2.K$);

k - condutividade térmica do material ($W/m.K$)

ρc – capacidade térmica (Jm^3k^{-1})

2.7.3 – Vantagens da utilização de materiais de construção para isolamento térmica

Os benefícios da utilização de materiais de construção para isolamento térmico, segundo Al-Homoud (2005) são:

- redução da dependência / mecânica de sistemas elétrico, portanto, conserva a energia que está associada recursos naturais.
- economia de energia, que irá levar a benefícios econômicos e resultará em maior disponibilidade de energia para os outros, redução dos custos do cliente, redução do custo de instalação de novas usinas geradoras de energia necessárias para responder à procura crescente de energia elétrica, conservação dos recursos para as gerações futuras.
- redução dos poluentes emitidos, que estão associados à dependência de meios mecânicos.
- proteção contra incêndio: Se o material de isolamento adequado é selecionado e instalado corretamente, pode ajudar a retardar o calor e evitar a imigração de chama para a construção em caso de incêndio.

2.8 - Materiais de Silicato de Cálcio

2.8.1 – Silicato de Cálcio

O silicato de cálcio pode ser gerado através de resíduos sólidos ricos em sílica e óxido de cálcio, como mostrado no diagrama de fases da Figura 2.9. São compostos do sistema CaO-SiO₂, incluindo wollastonita (fase predominante), que é gerado na natureza a partir da mistura de calcário e sílica (Kotsis e Balogh, 1989). Desde que os materiais sejam fontes de sílica e cálcio, pode-se obter, através de reação no estado sólido o silicato de cálcio (Felipe-Sesé et al., 2011).

O baixo fator da condutividade térmica do silicato de cálcio reduz os custos de operação devido à substancial economia de energia, além de proporcionar melhor controle das temperaturas de processo e não atacar o aço inoxidável nem acelerar sua corrosão.

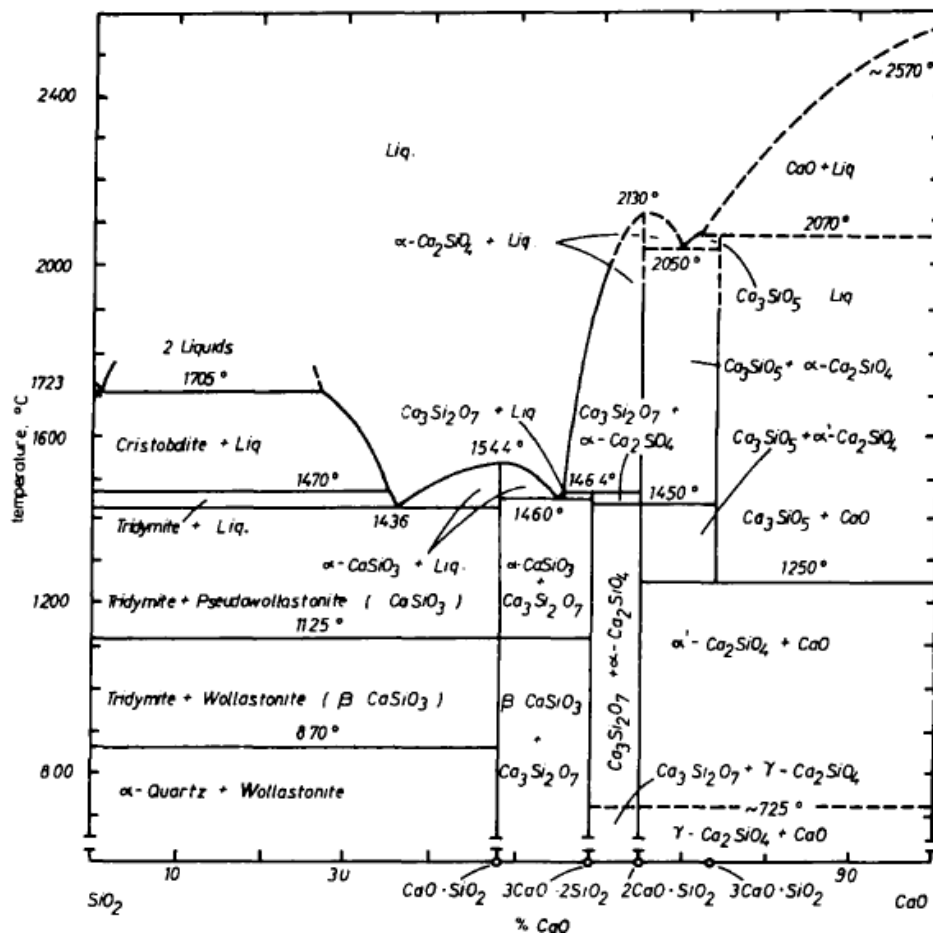


Figura 2.9 – Diagrama de fases do sistema CaO-SiO₂ (Kotsis e Balogh, 1989).

2.8.2 – Aplicações do Silicato de Cálcio

O silicato de cálcio é de grande interesse, devido as suas aplicações (Felipe-Sesé et al., 2011), que incluem: melhora nas propriedades de resistência e durabilidade na indústria de cimento; utilização na produção de cerâmica para isolamentos térmicos; fabricação de porcelanas dielétricas; aditivos na fabricação de polímeros, como resinas e plásticos (poliéster, nylon, polivinilo ou polipropileno); nos esmaltes reduzem os pontos de fusão e deixa com maior brilho; na indústria siderúrgica como fluxo de revestimento; na composição de materiais cerâmicos bioativos, como biovidros ; em tintas, como um material de reforço para melhorar as propriedades físicas, químicas e elétricas do produto acabado; substituição óssea.

O silicato de cálcio é um material adequado para isolamento térmica e apresenta um excelente desempenho (Neotérmica, 2012), pois pode reduzir os custos de operação devido à substancial economia de energia, além de proporcionar melhor controle das temperaturas de processo. Apresenta altas propriedades mecânicas e resistência ao fogo e por isso, elevada segurança ao aplicador e a indústria. É totalmente isento de amianto (está em conformidade com as exigências de segurança internacionais). Apresenta Inércia Química, não ataca o aço inoxidável nem acelera sua corrosão.

Capítulo 3. Materiais e Métodos

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos aplicados neste trabalho de dissertação de mestrado, que envolve diversas etapas relacionadas às matérias-primas, o processamento e os ensaios utilizados.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma experimental a ser desenvolvido na presente dissertação:

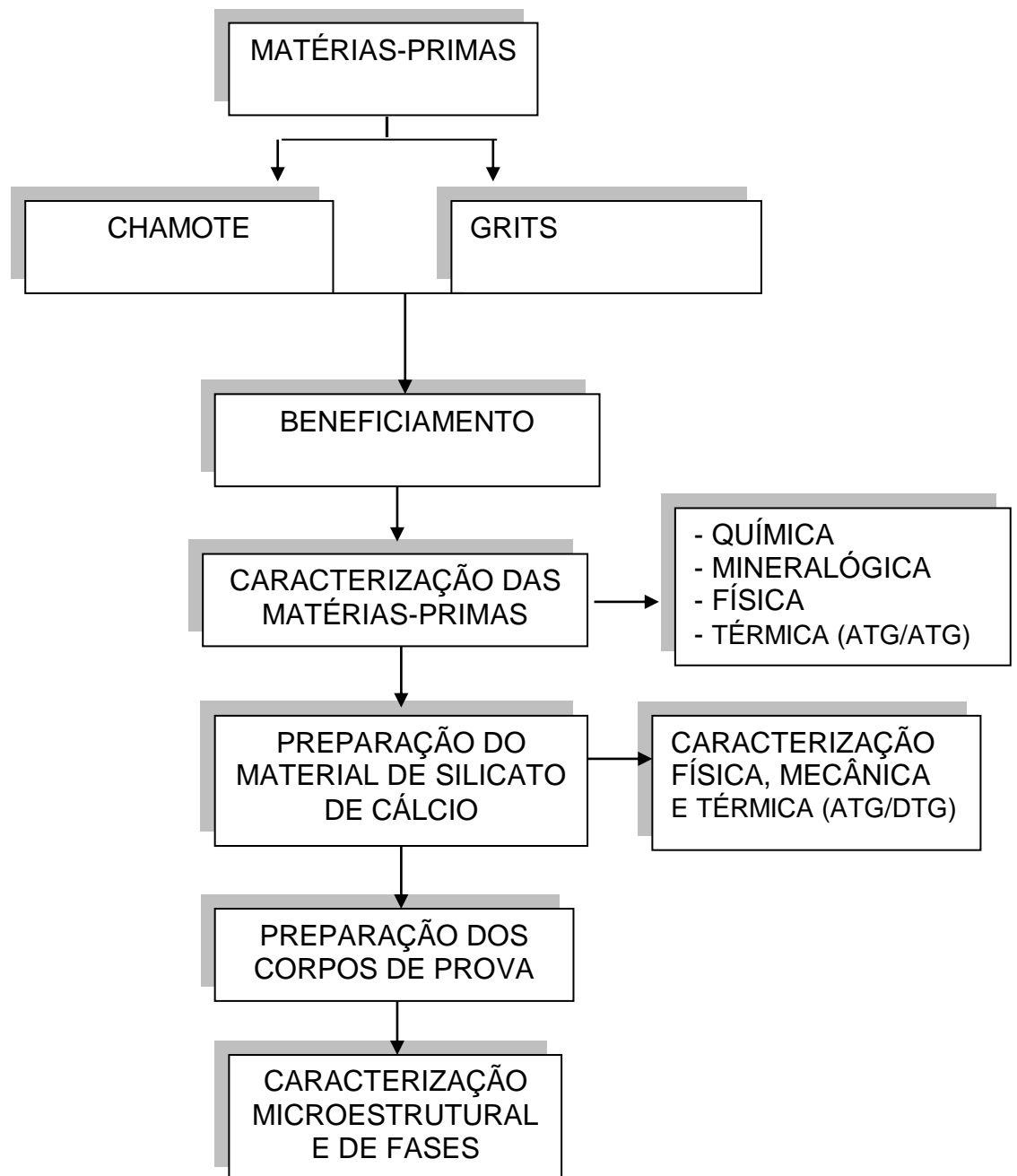


Figura 3.1 - Fluxograma das etapas envolvidas no trabalho.

3.1 - Matérias – Primas

Neste trabalho foram utilizadas as seguintes matérias-primas: resíduo sólido de grits (Figura 3.2) e resíduo de cerâmica vermelha, chamote (Figura 3.3). O resíduo sólido de grits utilizado foi coletado na empresa FIBRIA CELULOSE na unidade de Aracruz-ES, localizada no município Barra do Riacho - ES. O chamote foi coletado na CERÂMICA SARDINHA proveniente do Pólo Cerâmico de Campos dos Goytacazes - RJ.



Figura 3.2 – Resíduo Grits (in natura) da Indústria Fíbria Celulose de Aracruz – ES.



Figura 3.3 – Resíduo Chamote do Pólo Cerâmico de Campos dos Goytacazes – RJ.

3.2 – Metodologia

3.2.1 – Beneficiamento

A coleta do resíduo sólido grits in natura foi realizado na indústria Fíbria Celulose na unidade de Aracruz, ES. Primeiramente, o grits foi depositado em recipiente para secagem em estufa de laboratório a 110°C durante 48 horas. Logo

após o resíduo foi cominuído em moinhos de bolas Gardelin, e depois desagregado com graal e pistilo até a passagem completa em peneira de 150 mesh -106 μm ASTM. O resíduo sólido de chamote foi coletado e passou por um processo de cominuição via trituração em moinho de martelo. Logo após, foi submetido à moagem em moinho de bolas Gardelin, com esferas de porcelana de diferentes diâmetros durante duas horas a fim de reduzir sua granulometria. Após o processo de cominuição, o resíduo de chamote foi secado durante 24 horas em estufa a 110 °C e em seguida passou em peneira 150 mesh - 106 μm ASTM (Figura 3.4). Ao final, os resíduos de grits e chamote (Figura 3.5) foram colocados separadamente em vasilhame fechado para sua posterior utilizações, de modo a não absorver umidade do ar.



Figura 3.4 - Peneira de 150 mesh.



Figura 3.5 – Resíduo Grits e Chamote (150 mesh).

3.2.2 – Caracterização das matérias-primas

As matérias-primas foram submetidas à caracterização mineralógica, física e química por meio de técnicas de difração de raios-X, fluorescência de raios-X, análise termogravimétrica, análise do tamanho de partículas e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

3.2.2.1 – Difração de raios-X

A análise mineralógica qualitativa dos minerais presentes, tanto no grite quanto no chamote, foi realizada através de difração de raios-X (DRX), utilizando-se radiação monocromática de Cu-K α e varredura de 2 θ variando de 10° até 80°, em um difratômetro Shimadzu, modelo XRD-7000, com velocidade de 1,5°/min. As fases cristalinas foram identificadas por comparação entre as intensidades e as posições dos picos de Bragg com aqueles das fichas padrão JCPDS – Joint Comitee of Powder Diffraction Standards.

3.2.2.2 – Composição química

A identificação dos componentes químicos das amostras foi realizada através de análise química utilizando um espectrômetro de fluorescência de raios-X de energia dispersiva no equipamento Shimadzu, modelo EDX 700, acoplado a um computador para o processamento de dados. A perda ao fogo das matérias-primas foi determinada de acordo com a expressão, que segue abaixo:

$$PF = \frac{M_s - M_c}{M_s} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde:

PF – perda ao fogo (%);

M_s – massa da amostra seca a 110 °C,

M_c – massa da amostra calcinada a 1000 °C por 2 horas, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min em forno mufla, marca Maitec, modelo FL 1300.

3.2.2.3 - Análise Granulométrica e morfologia

A análise da Distribuição de Tamanho de Partículas foi determinada através de procedimentos de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 1984), pelo processo combinado de sedimentação e peneiramento. A massa específica real dos grãos foi determinada via picnometria de acordo com os procedimentos padronizados na norma NBR 6508 (ABNT, 1984).

A morfologia das partículas das matérias-primas foi determinada por microscopia eletrônica de varredura, utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura, marca Shimadzu, modelo SSX-550, após cobertura das partículas com uma fina camada de platina.

3.2.2.4 - Análises térmicas (ATG/DTG/)

As análises termogravimétricas (ATG/DTG) dos resíduos foram realizadas em um analisador simultâneo ATG-ATD, marca Shimadzu, modelo DTG-60H. O ensaio foi realizado de temperatura ambiente até 1000 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min.

3.3 - Preparação e síntese dos materiais de silicato de cálcio

Neste trabalho a fonte de sílica é o chamote e a fonte de óxido de cálcio é o resíduo grits. Foi utilizada uma formulação típica de silicato de cálcio numa razão molar de SiO₂:CaO (1:1) (Felipe-Sesé *et al*, 2011). A etapa de mistura foi realizada a seco em um misturador cilíndrico, e sintetizada em um forno mufla, marca Maitec, modelo FL1300, com uma variação de 50 °C, em um intervalo de temperatura de 1000 °C - 1100 °C, durante 24 horas, com uma taxa de aquecimento de 20 °C/min, obtendo-se o silicato de cálcio através de reações de difusão no estado sólido em alta temperatura.



Figura 3.8 – Mistura dos pós de grits e chamote.



Figura 3.9 – Material de Silicato de Cálcio obtido por sintetização de grits e chamote, nas temperaturas de 1000 °C, 1050 °C, 1100 °C.

3.4 - Preparação de corpos cerâmicos

O material de silicato de cálcio produzido foi umedecido durante 20 minutos com 15 % de água em peso, para a obtenção de plasticidade suficiente e ausência de defeitos. Em seguida foram produzidos 16 corpos de prova para cada uma das temperaturas de 1000°C, 1050°C e 1100°C. Para cada peça foram utilizados 10 gramas de material de silicato de cálcio, que foi prensado por prensagem uniaxial a 4,1 toneladas, na forma de pastilhas com diâmetro aproximados de 25 mm e altura de 10mm, em matriz de aço inoxidável com cavidade circular, em prensa hidráulica, marca Schwing Siwa, modelo PHMA. Após a prensagem, as peças de silicato de cálcio (Figura 3.10) foram secas em estufa a 110 °C durante 24 h.

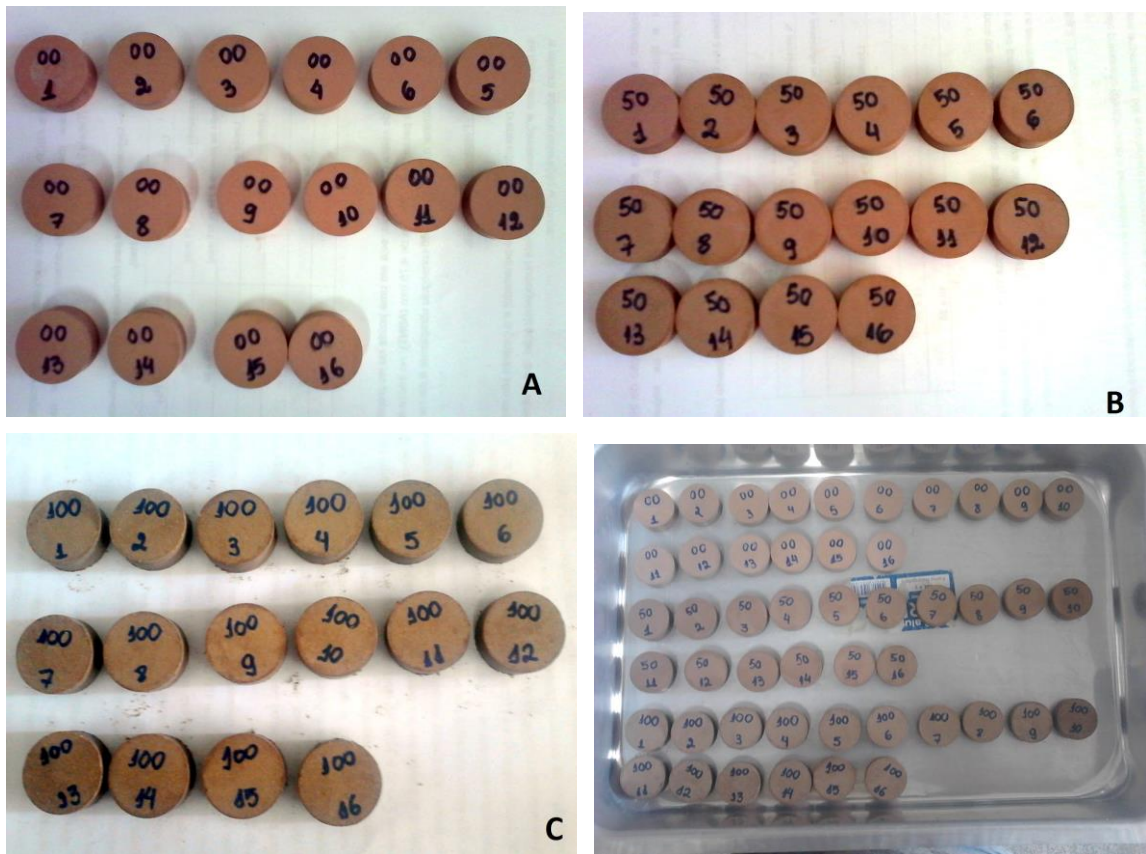


Figura 3.10 – Peças de Silicato de Cálcio após a etapa de cura. (A) 1000°C, (B) 1050°C e (C) 1100°C.

As amostras de teste foram curadas por imersão em água (Figura 3.11), a 5 minutos por dia durante 1 semana. Após esse período as peças de silicato de cálcio foram secas em estufa a 110°C, durante 48h.



Figura 3.11 – Etapa de cura das peças de silicato de cálcio.

3.5 - Caracterização física e mecânica

Os corpos cerâmicos foram caracterizados em termos de: absorção de água, sucção de água, densidade aparente, porosidade aparente, resistência à tração pelo método de compressão diametral, análises térmicas (ATG/DTG) e caracterização microestrutural e de fases.

O diâmetro e a altura das peças de silicato de cálcio foram medidos com o auxílio de um paquímetro digital Miltutoyo e as medidas de massa foram feitas com o auxílio da balança digital marca Gehaka, modelo BG-2000 Classe II.

3.5.1 – Absorção de água

A determinação da absorção de água (AA) dos corpos cerâmicos foi de acordo com os procedimentos descritos pela norma NBR 108 36 (ABNT, 1994), representada pela seguinte expressão:

$$AA = \left(\frac{M_u - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

AA = Absorção de água (%)

M_u – massa do corpo cerâmico saturado em água (g)

M_s – massa do corpo cerâmico seco (g)

3.5.2 - Porosidade aparente

A porosidade aparente (PA) dos corpos cerâmicos foi determinada através dos procedimentos descritos pela norma C 373-88 (ASTM,1994), de acordo com a expressão a seguir:

(3.3)

$$PA = \left(\frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \right) \times 100$$

Onde:

PA = Porosidade Aparente (%)

M_u – massa do corpo cerâmico saturado em água (g)

M_s – massa do corpo cerâmico seco (g)

M_i = Massa do corpo cerâmico imerso (g).

3.5.3 – Densidade Aparente

Foi determinada com base no método descrito na norma ASTM C 373 72, utilizando-se uma balança hidrostática como meio para determinar a massa dos corpos de prova imersos. O cálculo será efetuado segundo a equação:

$$\rho_a = \left(\frac{M_s}{M_u - M_i} \right) \times d \quad (3.4)$$

Onde:

ρ_a = Densidade Aparente (g/cm^3)

M_s = Massa do corpo de prova seco (g)

M_u = Massa do corpo de prova úmido (g)

M_i = Massa do corpo de prova imerso (g)

d = Densidade do líquido usado (água $1,0 \text{ g/cm}^3$ a 25°C)

3.5.4 – Resistência à Tração pelo Método de Compressão Diametral

A resistência à tração das pastilhas foi obtida a partir da expressão 3.5. As peças foram submetidas a ensaios de compressão diametral com auxílio de uma máquina de ensaio universal (Figura 3.14), marca Instron, modelo 5582, com velocidade de carregamento de $0,5 \text{ mm/min}$. A Figura 3.15 apresenta a amostra fraturada.

$$\sigma_c = \frac{2.F}{\pi.d.h} \quad (3.5)$$

Onde:

σ_c = Tensão compressiva de ruptura (MPa).

F = Carga de ruptura (N).

d = Diâmetro das pastilhas (mm).

h = Altura das pastilhas cilíndricas (mm).

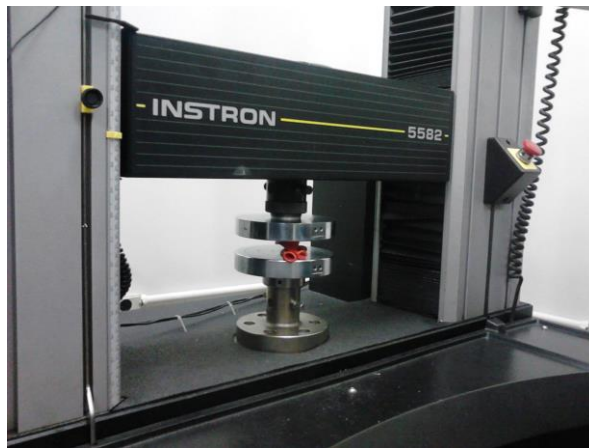


Figura 3.14 - Ensaio de compressão diametral



Figura 3.15 – Peças de silicato de cálcio após ensaio de compressão diametral.

3.5.5 – Sucção de água

Sucção de água de um material cerâmico é a quantidade de água absorvida durante a imersão parcial de curta duração. Para a realização deste ensaio foi utilizada a norma UNE 67-031. As amostras foram secas em um forno a temperatura de 110°C até que seu peso ficasse constante (P_i). Em um recipiente

foi colocado água necessária para cobrir as peças e a superfície total da amostra (A), durante um minuto. Logo após, a amostra é removida, seca superficialmente com pano e seu peso (Q_i) é obtido, em gramas. A sucção é obtida a partir da seguinte expressão:

$$S = \frac{Q_i - P_i}{A} \quad (3.6)$$

P_i - peso seco

Q_i - peso úmido

A - Área da peça

3.6 – Caracterização Microestrutural e de Fase

Foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca Shimadzu, modelo SSX-550 para a análise da superfície de fratura do material de silicato de cálcio após metalização com uma fina camada de platina.

A análise de fases do material de silicato de cálcio foi feita por difração de raios-X. Foram determinadas as fases cristalinas formadas durante o processo de obtenção do novo material de isolamento térmico.

Capítulo 4. Resultados e Discussão

4.1 - Caracterização das Matérias-Primas

4.1.1 - Caracterização Química

A composição química e a perda ao fogo das matérias-primas utilizadas neste trabalho são apresentadas na Tabela 4.1. Pode-se observar que o resíduo grits é constituído essencialmente por óxido de cálcio (CaO) e quantidades menores de SO_3 , K_2O , SrO e ZrO_2 . Nota-se também que o resíduo grits apresenta alta perda ao fogo (28,08 % em peso), devido principalmente a liberação de CO_2 proveniente da decomposição de calcita para formação de CaO (Carvalho e Almeida, 1997). Pode-se observar que os resultados obtidos estão próximos aos resultados encontrados por Carvalho e Almeida (1997).

Tabela 4.1: Composição química do resíduo Grits e Chamote (% em peso).

Compostos	Resíduo Grits	Resíduo Chamote
SiO_2	-	45,92
Al_2O_3	-	36,02
Fe_2O_3	-	9,28
K_2O	1,05	2,53
TiO_2	-	1,52
SO_3	1,05	1,40
CaO	68,67	0,68
ZrO_2	1,44	-
MnO	-	0,12
Outros	-	0,17
Perda ao fogo (1000 °C)	28,08	2,40

Já o resíduo de chamote é composto principalmente por sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3). Além disso, apresenta também pequenas quantidades de óxidos de potássio, titânio, cálcio e manganês. A presença do óxido de ferro justifica a cor avermelhada do resíduo de chamote. Nota-se também na Tabela 4.1 baixo valor (2,40 % em peso) de perda ao fogo, que está relacionado ao fato do resíduo de chamote ser oriundo da etapa de queima.

4.1.2. Análise mineralógica

A Figura 4.1 apresenta o difratograma de raios-X da amostra do resíduo grits. Observa-se que o resíduo é constituído principalmente por carbonato de cálcio na forma de calcita (CaCO_3) e minerais acessórios tais como portlandita (Ca(OH)_2), pirsonita ($\text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e wustita (FeO). Estes resultados obtidos na análise por difração de raios-X estão de acordo com a caracterização química.

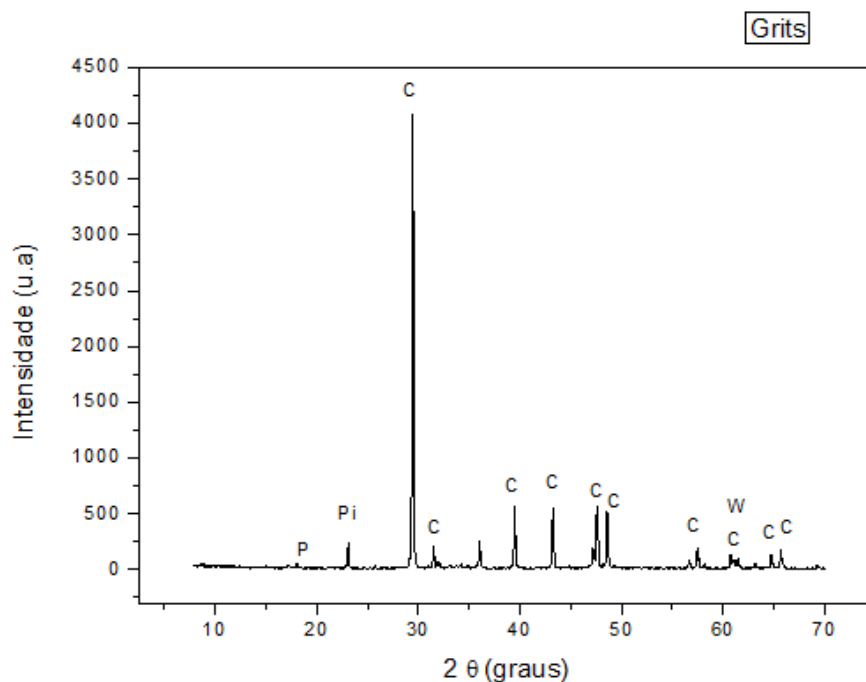


Figura 4.1. – Difratograma de raios-X do resíduo de Grits: C- Calcita; P – Portlandita; Pi – Pirsonita; W - Wustita.

A Figura 4.2 apresenta o difratograma de raios-X do resíduo de chamote. A fase cristalina predominante é o quartzo (SiO_2), contendo também mica muscovita (proveniente da matéria-prima no seu estado natural) e hematita (Fe_2O_3) proveniente da desidratação do hidróxido de ferro. Embora as argilas usadas no pólo de Cerâmica vermelha de Campos dos Goytacazes possua caulinita, esta não é identificada na Fig. 4.2, devido a sua transformação para a metacaulinita amorfa. Verifica-se que os dados de difração de raios-X comprovam os resultados da composição química.

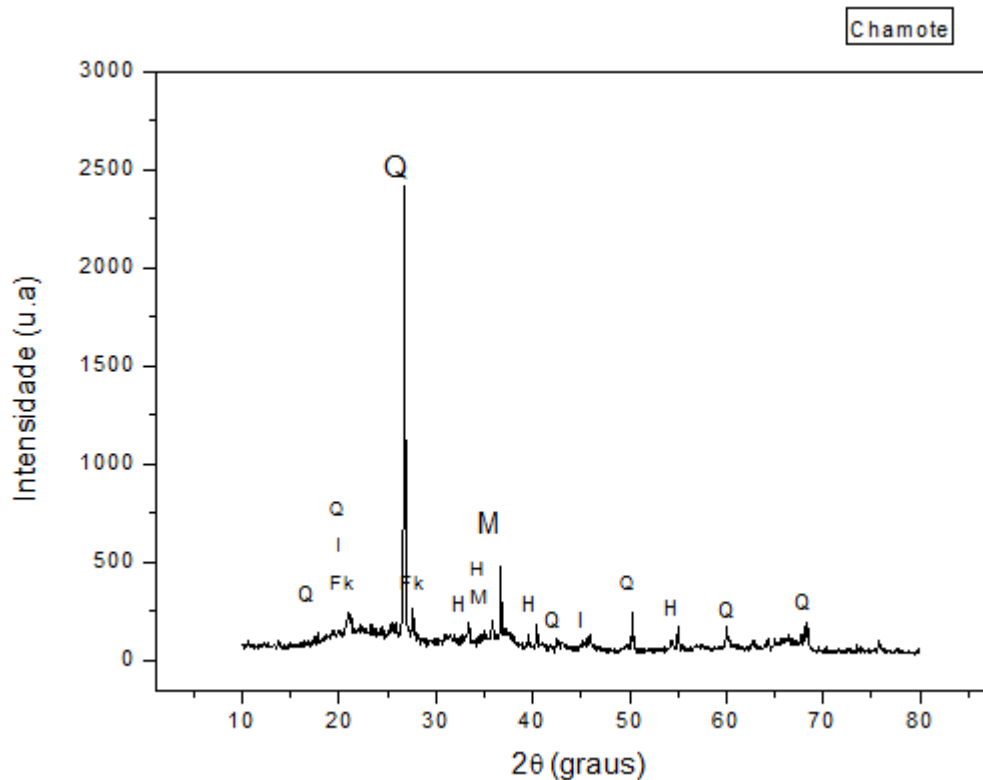


Figura 4.2– Difratograma de raios-X do resíduo de Chamote: Q - Quartz; I – Illita; M - Mica; H - Hematita; Fk– Feldspato Potássico.

4.1.3 – Análise Granulométrica

A Figura 4.3 apresenta a análise granulométrica de partícula do resíduo de Grits. Observa-se na análise granulométrica que as frações granulométricas das partículas do resíduo grits se distribuem em 68.9% da fração areia (22,1% areia grossa, 29,8% areia média e 17,0% areia fina, 1% de pedregulho (pedregulho fino), 22,3% de silte e 7,8% de argila. O valor da massa específica real dos grãos da amostra do resíduo grits obtido reflete as fases mineralógicas presentes no resíduo e foi de 2,82 g/cm³.

O resultado da análise granulométrica de partícula do resíduo de chamote é apresentado na Figura 4.4. O resíduo de chamote apresenta um percentual de fração argila (< 2 µm) de 9 % em peso. As frações areia (60 µm ≤ x < 600 µm) e silte (2 µm ≤ x < 60 µm) são de 22 % e 69 %, respectivamente. A massa específica real dos grãos da amostra de resíduo de chamote determinada via picnometria foi de 2,79 g/cm³.

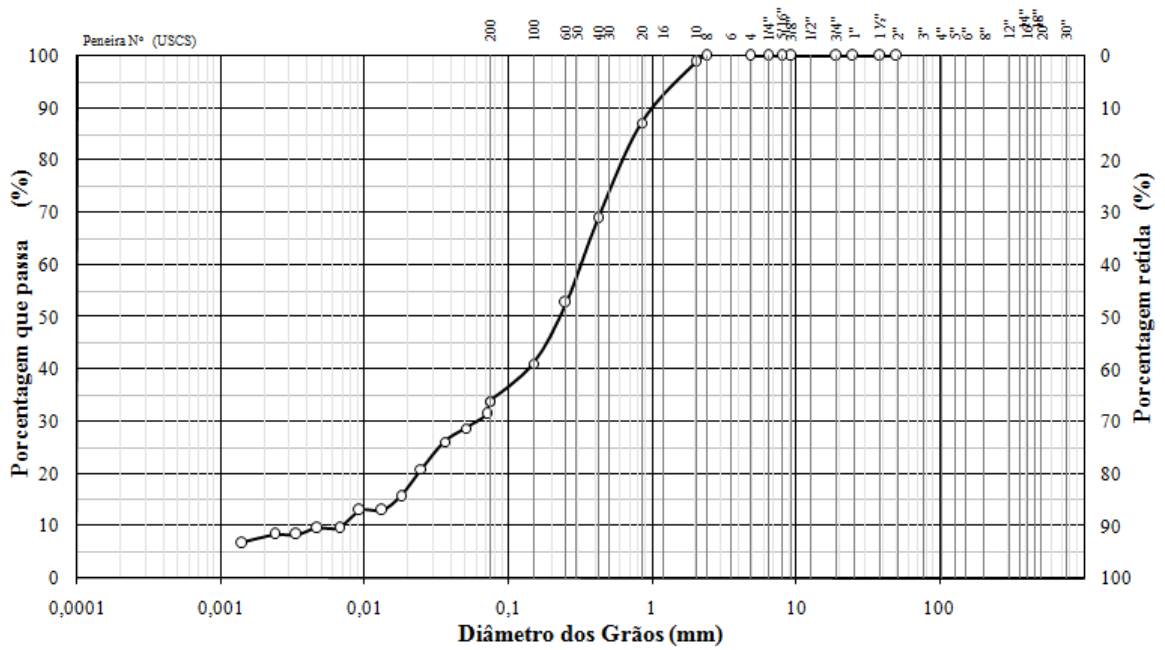


Figura 4.3 - Curva de distribuição de tamanho de partículas do resíduo Grits.

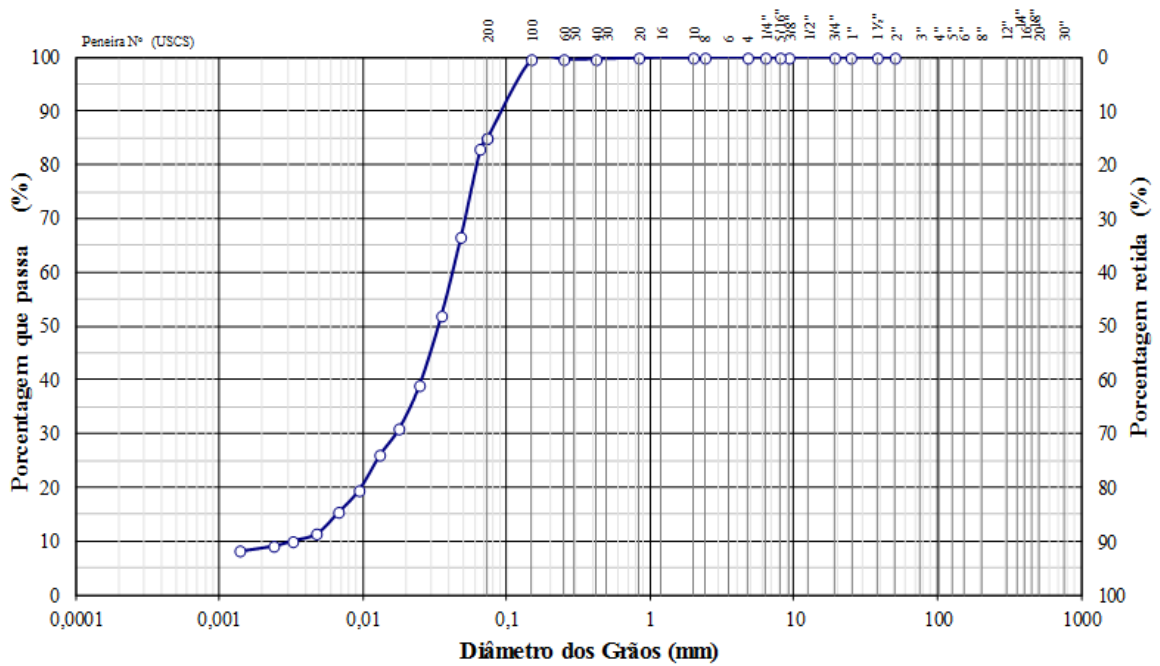


Figura 4.4 - Curva de distribuição de tamanho de partículas do resíduo Chamote.

4.1.4 - Análises Térmicas (ATD/TG)

O comportamento térmico do resíduo grits e resíduo de chamote foi estudado por meio de análise térmica diferencial (DTA) e análise termogravimétrica (ATG). A Figura 4.5 mostra as curvas de ATG e ATD do resíduo grits estudado. A curva de ATG indica que houve uma grande perda de massa em torno de 750 °C durante o aquecimento da amostra, aproximadamente 40%, que pode estar relacionada à decomposição do carbonato de cálcio para formação de óxido de cálcio e liberação de gás carbônico. Observa-se um evento endotérmico intenso, em torno de 756 °C, proveniente da decomposição do carbonato de cálcio.

A Figura 4.6 mostra as curvas de ATG e ATD do resíduo de chamote estudado. A curva de ATG indica que houve uma baixa perda de massa, que pode estar relacionado ao fato do chamote ser oriundo de processos de queima a elevada temperatura. A curva de ATD é caracterizada por um pico endotérmico associado provavelmente à perda de água de umidade, em torno de 150 °C. Por volta de 920°C, observa-se pico exotérmico que pode estar associado à decomposição da metacaulinita com concomitante recristalização para formação de uma nova fase como, por exemplo, mullita. .

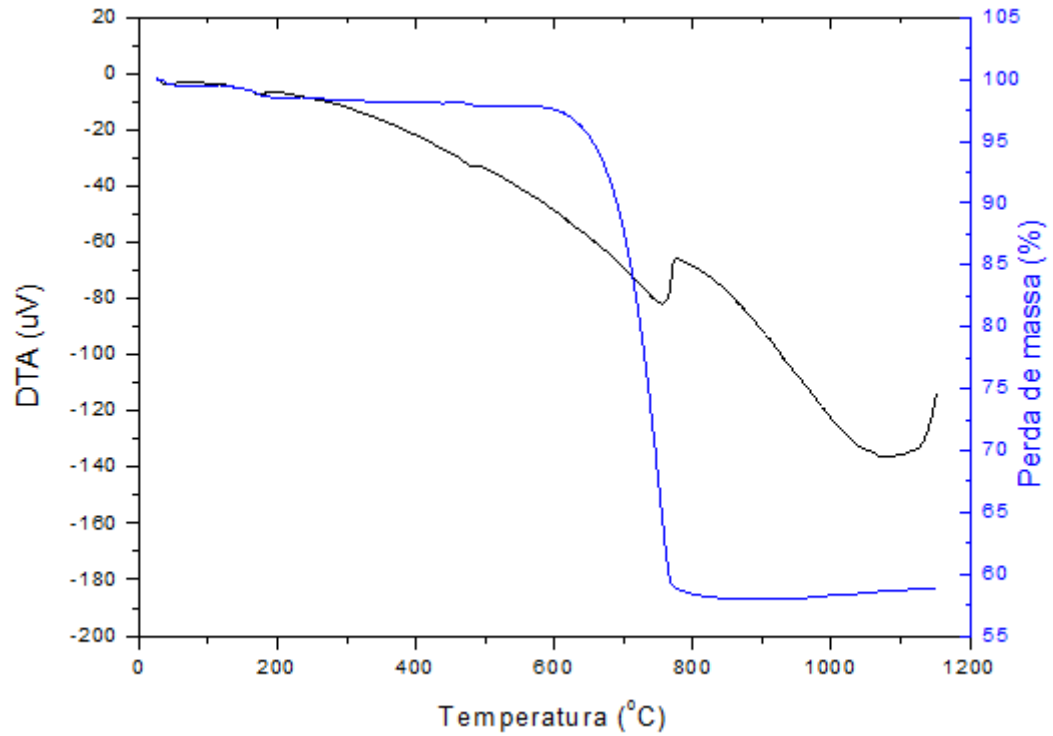


Figura 4.5 – Curvas de análises térmicas diferencial e termogravimétrica (ATD e ATG) para o resíduo grits.

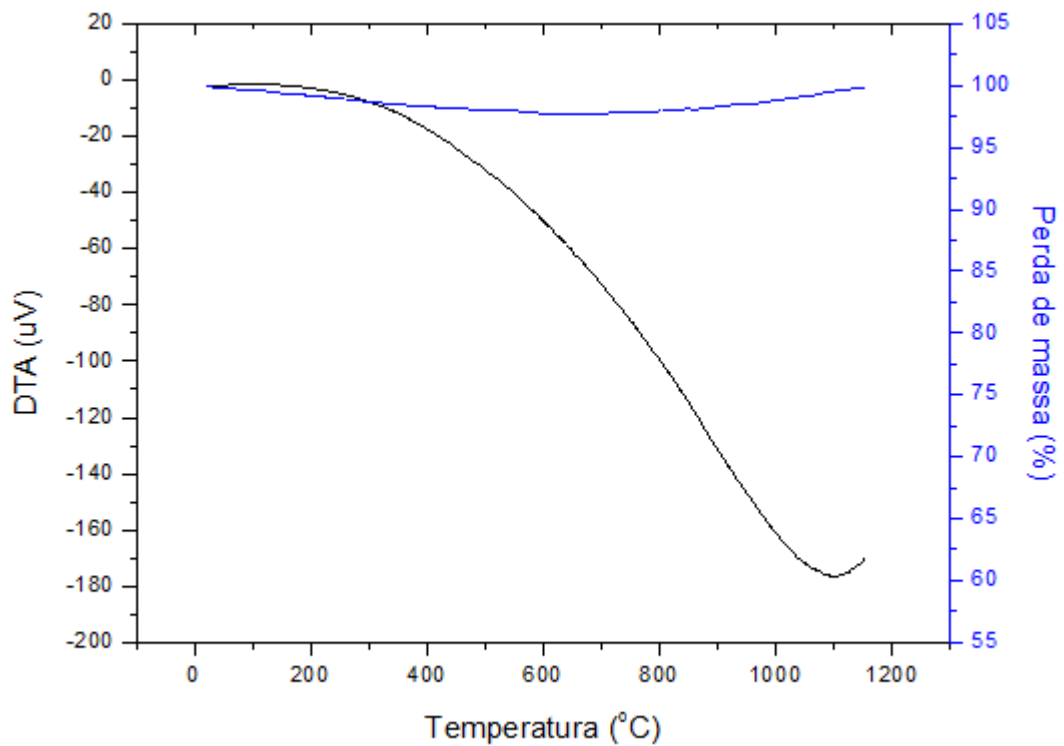


Figura 4.6 – Curvas de análises térmicas diferencial e termogravimétrica (ATD e ATG) para o resíduo de chamote.

4.1.5 - Análise Morfológica dos Resíduos

As micrografias obtidas por MEV das partículas do resíduo grits podem ser observadas na Figura 4.7. Observam-se partículas com morfologia irregular e textura suave, com tamanhos diferenciados, que pode estar relacionado ao modo de obtenção do resíduo durante o processo Kraft. O mapeamento EDS do resíduo mostrado na Figura 4.7D, identifica picos de C, Ca, Na, O. Estes resultados estão de acordo com os dados de composição química e difração de raios-X para o resíduo grits.

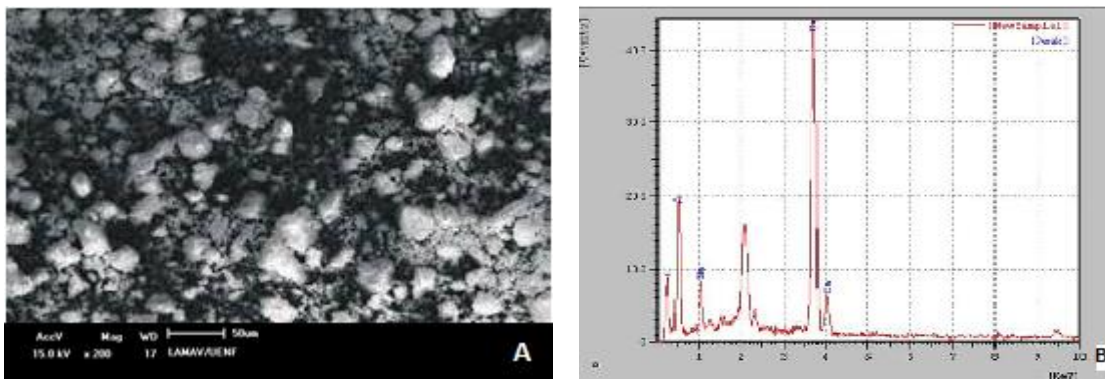


Figura 4.7 - Micrografias de MEV do resíduo de grits. Aumento de (A) 200 X e (B) mapeamento de EDS.

A Figura 4.8 apresenta as micrografias obtidas por MEV do resíduo de chamote. As partículas apresentam morfologia em forma de placas aglomeradas relacionadas possivelmente a caulinita presente na argila que originou o chamote (Vieira et al., 2004). O mapeamento EDS do resíduo demonstra picos intensos C, O, Al, Si, Pt, Fe e O, que estão em conformidade com a análise química demonstrada anteriormente e no difratograma de raio-X. A análise morfológica por microscopia confocal apresentada na Figura 4.9-A, referente ao pó de chamote, revela a presença de partículas angulares provavelmente o quartzo. Pode-se notar a presença de partículas brilhosas, característica do mineral mica muscovita. A presença de partículas mais escuras que podem estar associadas a hematita. A Figura 4.9-B, representa a análise confocal para a amostra de grits. Nota-se que o resíduo utilizado apresenta coloração clara, predominantemente branca, e se encontra bastante aglomerado, com partículas finas.

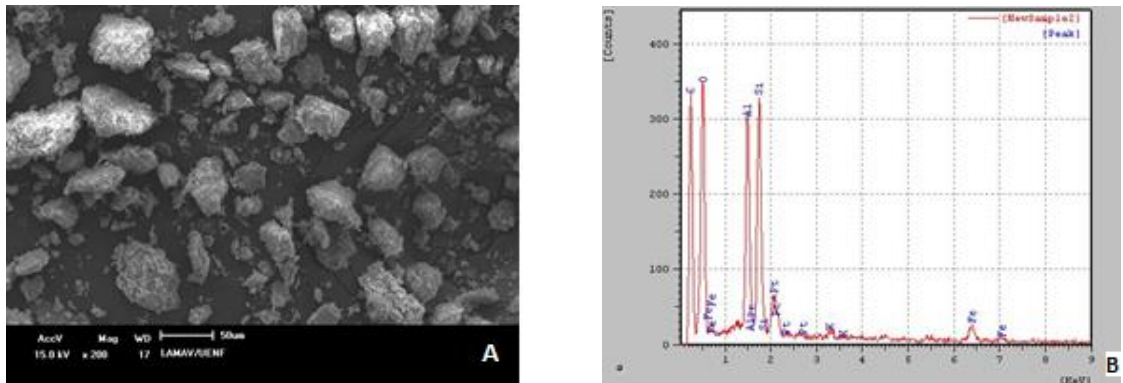


Figura 4.8: Micrografias de MEV do resíduo de chamote. Aumento de (A) 200 X (D) mapeamento de EDS.

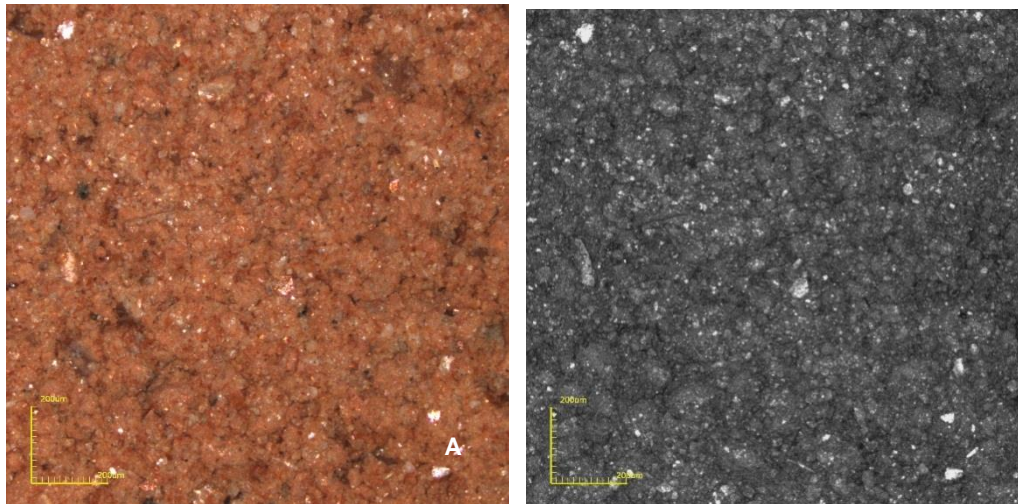


Figura 4.9 –A: Análise morfológica do resíduo de chamote via microscopia confocal. Aumento de 216 X.

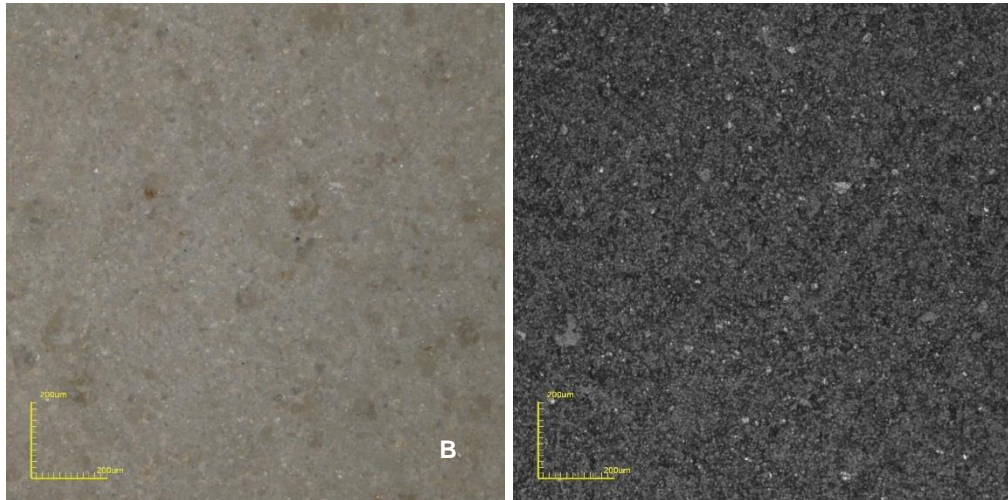


Figura 4.9 –B: Análise morfológica do resíduo de grits via microscopia confocal. Aumento de 216 X.

4.2 – Caracterização do Pó de Silicato de Cálcio

4.2.1 – Análise de fases via difração de raios-X

As Figuras 4.10 - 4.12 mostram os difratogramas de raios-X para o material de silicato obtido com a mistura resíduo grits / resíduo de chamote, na razão molar $\text{SiO}_2\text{-CaO}$ 1:1, sintetizado nas temperaturas de 1000 °C, 1050 °C, 1100 °C, respectivamente. As seguintes fases cristalinas foram identificadas: wollastonita (CaSiO_3), aTridimita (SiO_2), rakinita($\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$), ghelenita ($\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi})\text{O}_7$), larnita (Ca_2SiO_4), anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), ferrobustamita ($[\text{Ca,Fe,Mn}]_3\text{Si}_3\text{O}_9$) e Cristobalita (SiO_2). Estes resultados indicam que material de silicato de cálcio pode ser obtido a partir de resíduos sólidos poluentes ricos em fontes de SiO_2 e CaO .

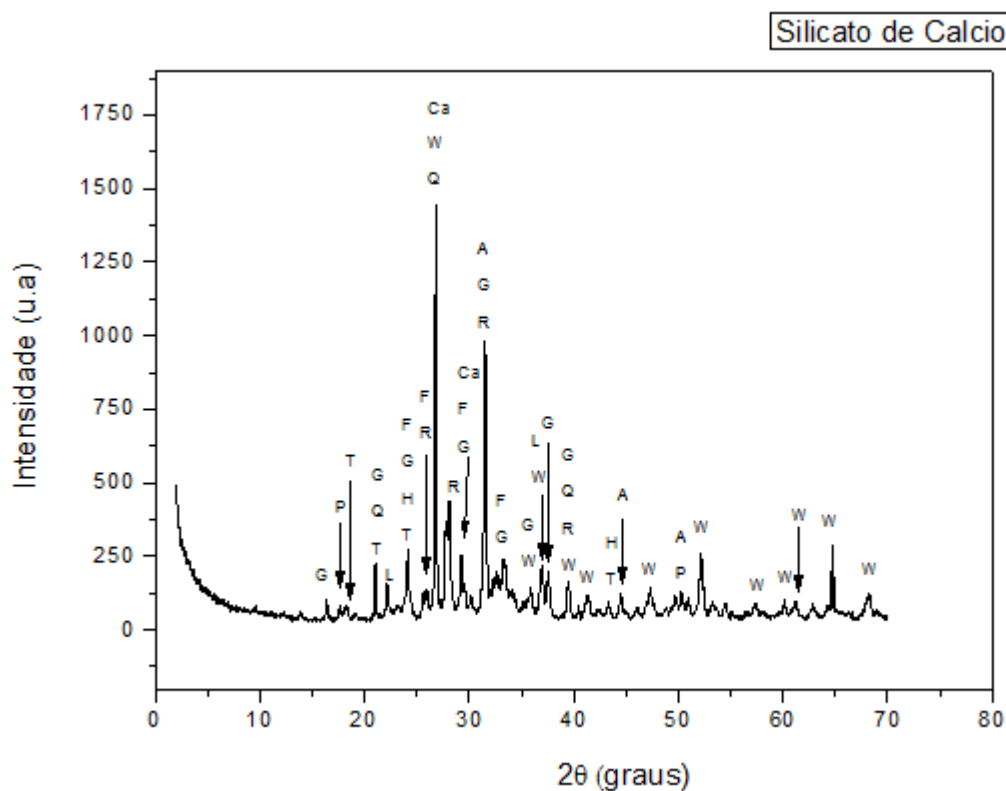


Figura 4.10 - Difratograma de raios -X do pó de silicato de cálcio obtido a partir de chamote e grits a 1000 °C. F – Ferrobustamita, G- Gehlenita, T -Tridimita, R – Rankinita, H - Hematita, Ca – Carbonato de Cálcio, W -Wollastonita, A – Anorthita, Q – Quartzo, L – Larnita, P – Portlandita.

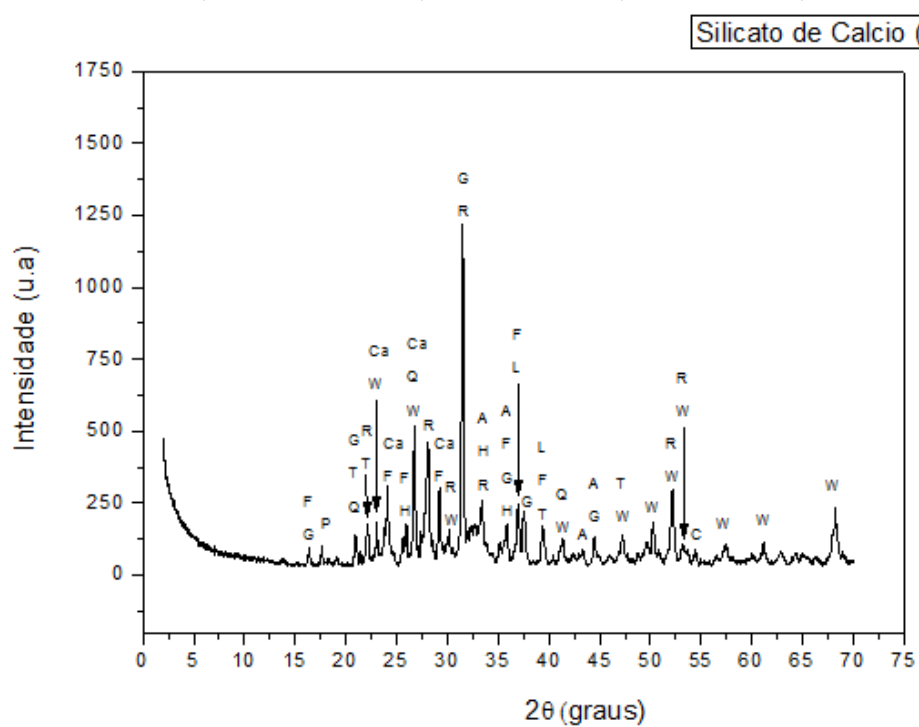


Figura 4.11 - Difratograma de raios-X do pó de silicato de cálcio obtido a partir de chamote e grits a 1050°C. F – Ferrobustamita, G- Gehlenita,

T -Tridimita, R – Rankinita, H - Hematita, Ca – Carbonato de Cálcio,
W -Wollastonita, A – Anorthita, Q – Quartzo, L – Larnita, P – Portlandita.

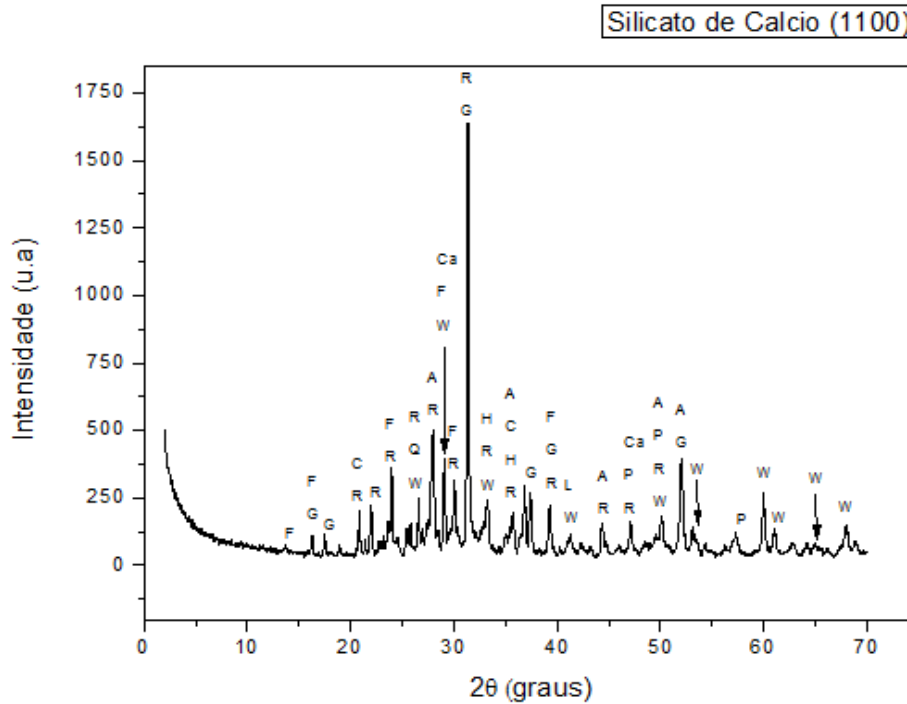


Figura 4.12 - Difratoograma de raios- X do pó de silicato de cálcio obtido a partir de chamote e grits a 1100°C. F – Ferrobustamita, G- Gehlenita, T-Tridimita, R – Rankinita, C – Cristobalita, H - Hematita, Ca – Carbonato de Cálcio, W – Wollastonita, A – Anorthita, Q – Quartzo, L – Larnita, P-Portlandita.

4.2.2 – Densidade Real

Os valores de densidade real do material de silicato de cálcio sintetizado em diferentes temperaturas são apresentados na Tabelas 4.2. Pode-se observar que os valores obtidos (2,86 – 2,91 g/cm³) para a densidade real dos materiais sintetizados estão próximos da densidade real da wollastonita teórica que é 2,91 g/cm³ (Vichaphund et al. 2011). A densidade real tende a levemente aumentar com o aumento da temperatura de síntese.

Tabela 4.2- Densidade real dos grãos de silicato de cálcio após síntese nas temperaturas de 1000 °C, 1050 °C e 1100 °C.

Temperatura (°C)	1000	1050	1100	Mistura Grits/Chamote	Wollastonita
Densidade real (g/cm ³)	2,86	2,88	2,91	2.86	2,91

4.2.3 – Análise Morfológica dos pós de Silicato de Cálcio.

As Figuras 4.13 - 4.15 apresentam as micrografias de MEV do pó de silicato de cálcio sintetizado a 1000 °C, 1050 °C e 1100 °C, respectivamente. Pode-se observar que para ambos os materiais os grãos apresentam tamanho distintos e morfologia irregular. Os mapeamentos por EDS apresentaram composições de Si, Al, Ca, O, Fe, Pt, C, em maiores ou menores intensidades. Exceto platina, estes elementos são os principais constituintes das fases formadas durante a síntese desse novo material de silicato de cálcio. A platina e carbono detectados no EDS são oriundos da preparação das amostras, já que foi utilizada uma fita de carbono para fixar o material de silicato de cálcio em uma moeda e a platina para metalização das amostras.

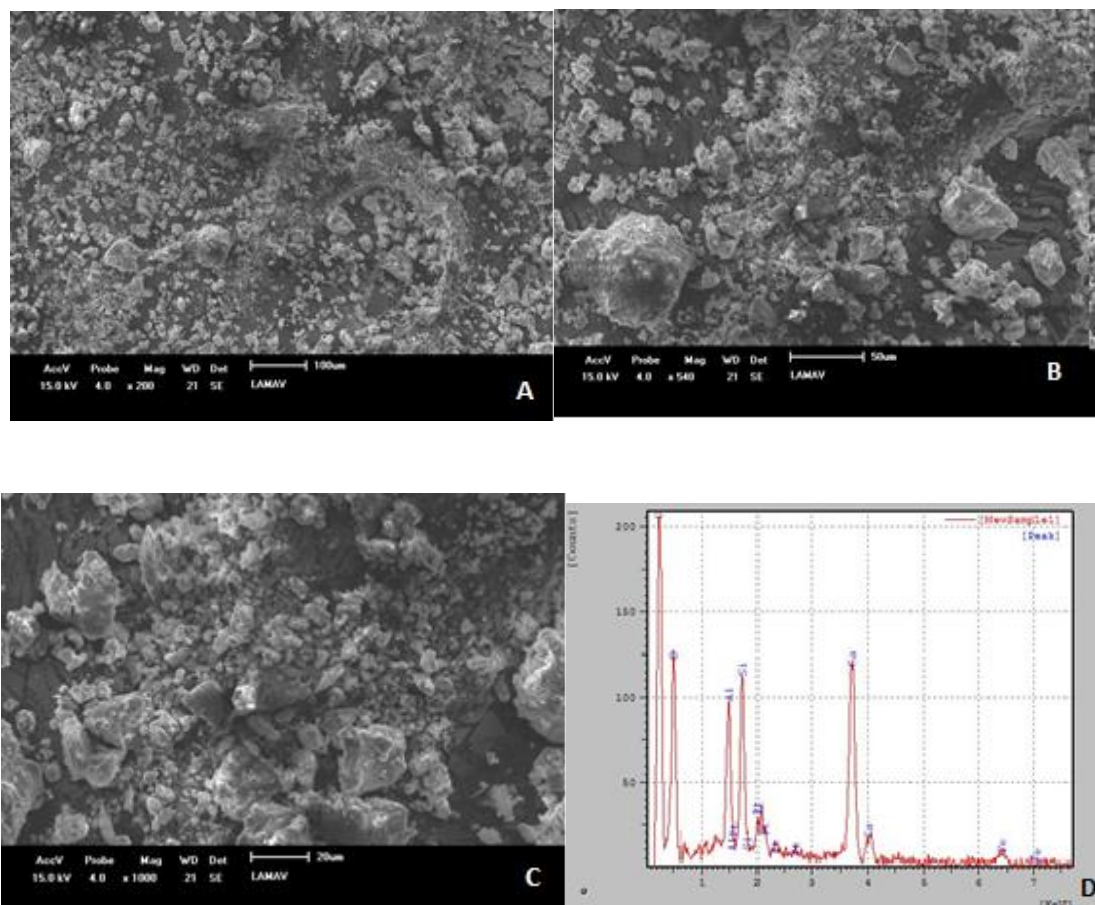


Figura 4.13 – Micrografia de MEV do material de silicato de cálcio sintetizado a 1000°C, obtido com a mistura de grits e chamote. (A) aumento de 200x; (B) aumento de 480x; (C) aumento de 1000x e (D) espectro EDS.

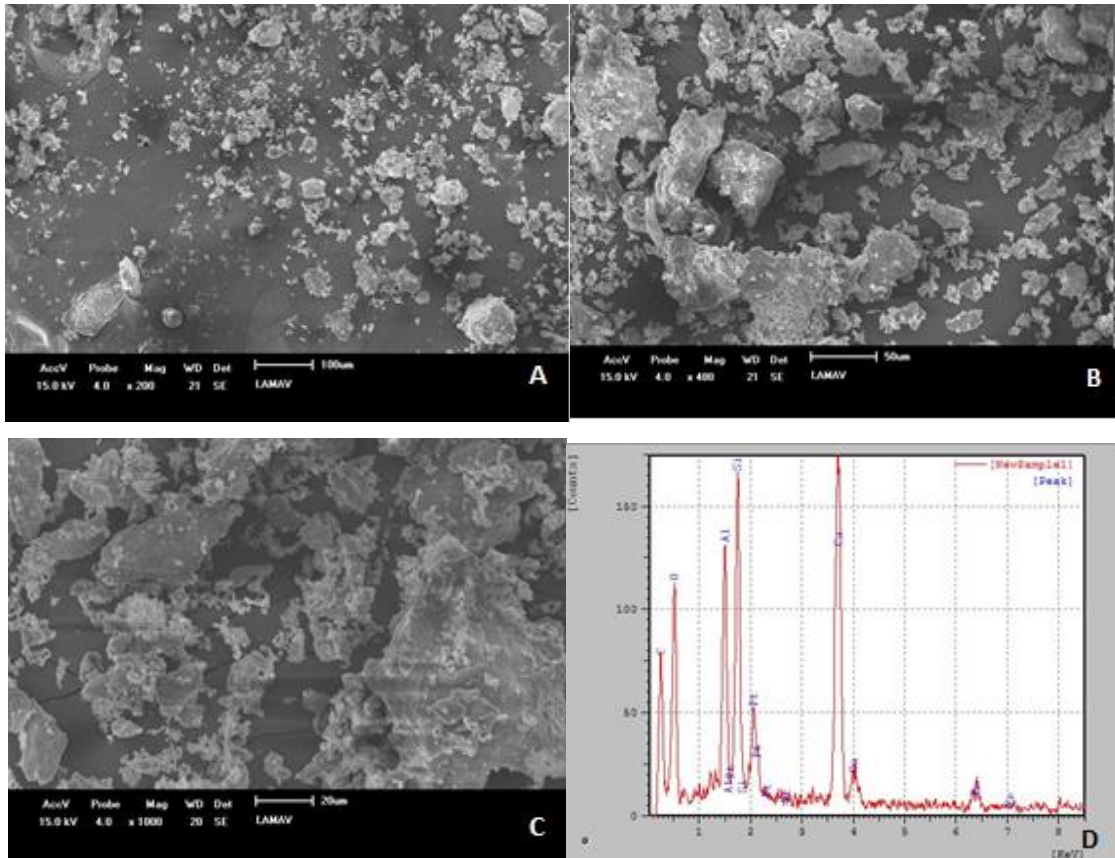
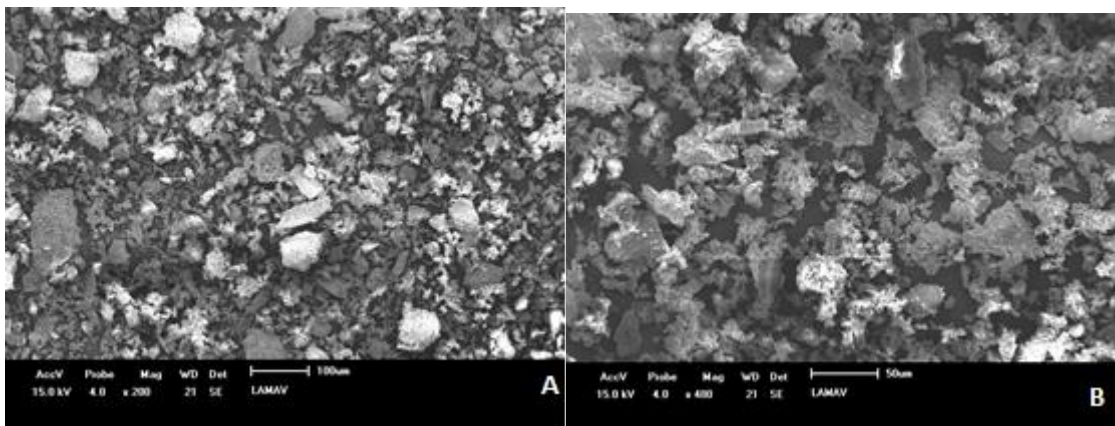


Figura 4.14 – Micrografia de MEV do material de silicato de cálcio sintetizado a 1050°C, obtido com a mistura de grits e chamote. (A) aumento de 200x; (B) aumento de 480x; (C) aumento de 1000x e (D) espectro EDS.



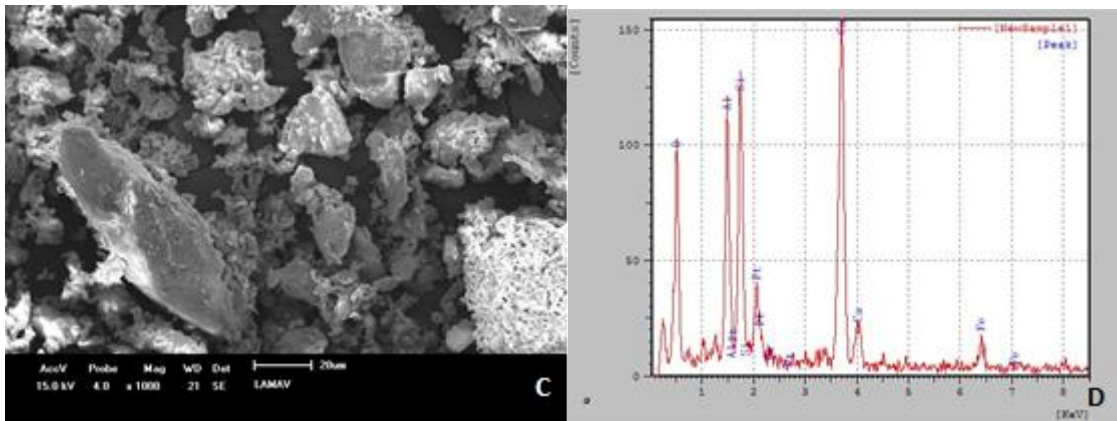


Figura 4.15 – Micrografia de MEV do material de silicato de cálcio sintetizado a 1100°C, obtido com a mistura de grits e chamote. (A) aumento de 200x; (B) aumento de 480x; (C) aumento de 1000x e (D) espectro EDS.

4.3 – Caracterização dos corpos de prova

4.3.1 – Absorção de água e Porosidade Aparente.

Os valores da absorção de água e porosidade aparente estão apresentados nas Figuras 4.16 e 4.17, respectivamente, cujos dados estão resumidos na Tabela 4.3. Quanto mais baixa for a absorção de água, maior a durabilidade e resistência do material, assim a porosidade aberta pode ser determinada a partir dos valores de absorção de água.

Os resultados indicam que as peças sintetizadas apresentaram baixos valores de absorção e porosidade, que pode ser explicada pela presença do CaCO_3 que não reagiu completamente (Felipe-Sesé, 2011), como mostra os difratogramas de raios-X (Figuras 4.10 - 4.12).

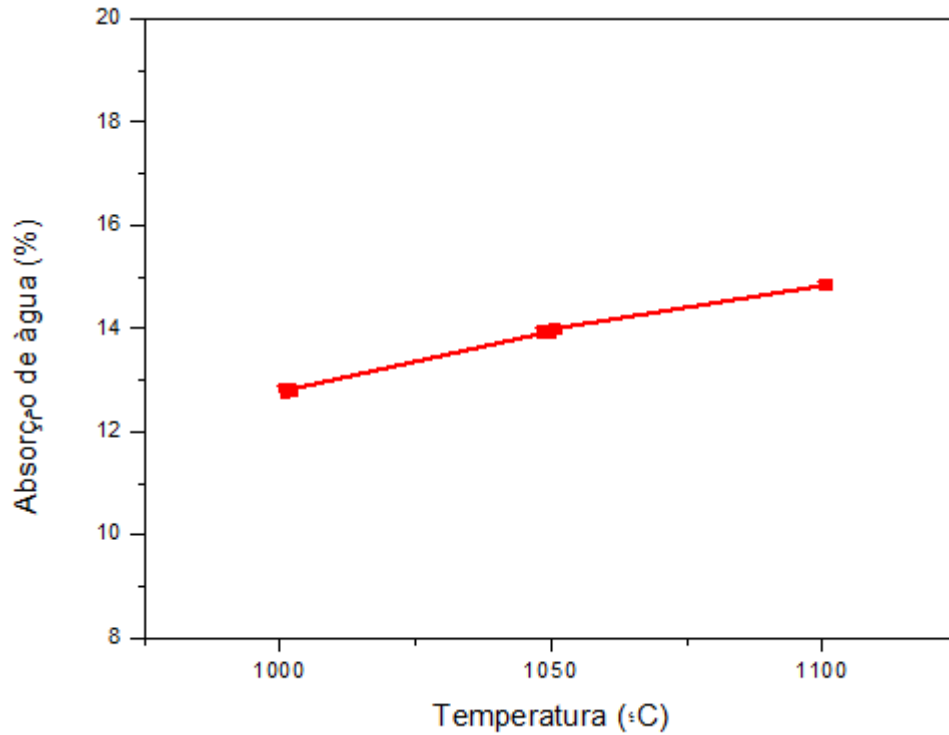


Figura 4.16 - Absorção de água das peças de silicato de cálcio.

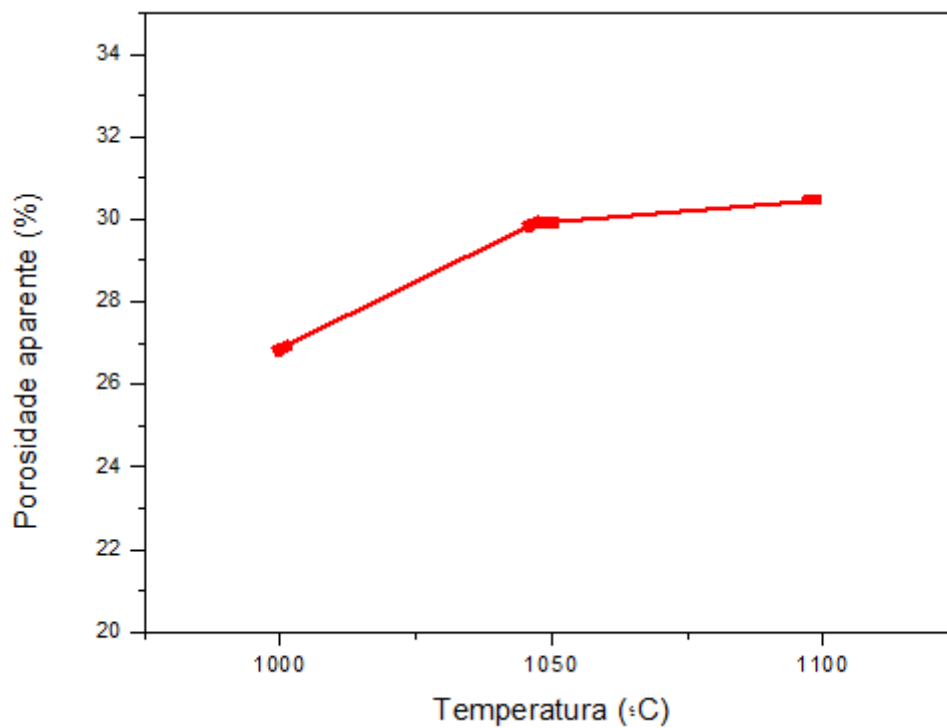


Figura 4.17 – Porosidade Aparente das peças de silicato de cálcio.

Tabela 4.3 – Absorção de água e Porosidades das amostras de Silicato de Cálcio.

Amostra (média)	Absorção de água (%)	Porosidade Aparente (%)
1000°C	12,63	26,75
1050°C	13,94	29,90
1100°C	14,76	30,63

4.3.2 – Densidade Aparente

De acordo com a Figura 4.18 e Tabela 4.4 a densidade aparente das peças de silicato de cálcio apresentou uma variação entre 1,76 g/cm³ e 1,97 g/cm³. A densidade aparente de um material está associada à quantidade de poros presente na peça. A porosidade aparente representada na Figura 4.21 foi menor para os corpos de prova de silicato de cálcio sintetizados nas temperaturas de 1000 °C e 1050°C e estas amostras apresentaram maior densidade aparente. Os corpos de prova de silicato de cálcio sintetizados na temperatura de 1100 °C apresentaram uma menor densidade, fato que já era esperado, pois esses mesmos corpos apresentaram uma maior porosidade aparente.

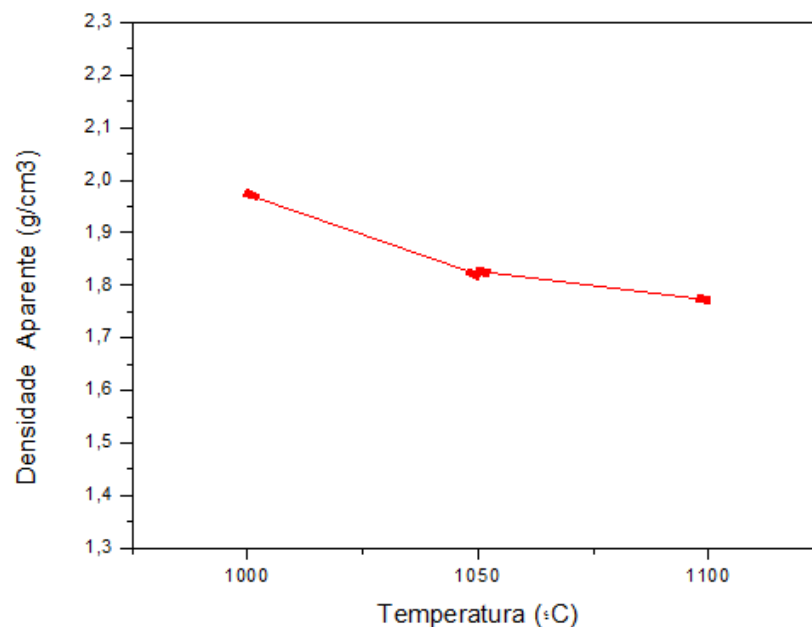


Figura 4.18 – Densidade Aparente das peças de silicato de cálcio.

Tabela 4.4 – Densidade Aparente das amostras de Silicato de Cálcio.

Amostra (média)	Densidade Aparente (g/cm ³)
1000°C	1,97
1050°C	1,82
1050°C	1,76

4.3.3 – Sucção

A Figura 4.19 apresenta os dados de sucção das peças de silicato de cálcio, cujos dados estão resumidos na Tabela 4.5. A sucção aumentou juntamente com a temperatura de sintetização. Estes resultados estão de acordo com os dados de absorção, comprovando mais uma vez a existência de porosidade aberta mais intensa nessas peças.

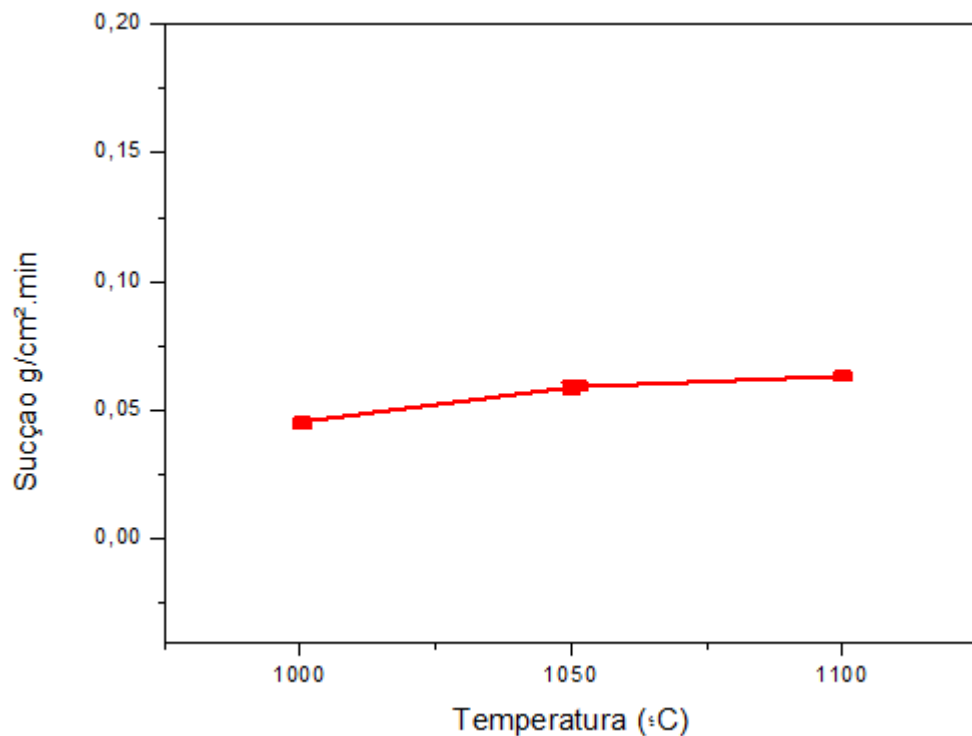


Figura 4.19 – Sucção das peças de silicato de cálcio.

Tabela 4.5 – Sucção das amostras de Silicato de Cálcio.

Amostra (média)	Sucção (g/cm ² .min)
-----------------	---------------------------------

1000°C	0,047
1050°C	0,058
1050°C	0,060

4.3.4 – Resistência à Tração pelo Método de Compressão Diametral

A resistência à Tração pelo método de compressão diametral para as peças de silicato de cálcio é mostrada na Figura 4.20. À medida que a temperatura de sintetização se eleva, a tensão à tração diminui, isto se deve porque a resistência mecânica está relacionada à porosidade e quanto maior esse valor, menor será a resistência mecânica do material (Tabela 4.6).

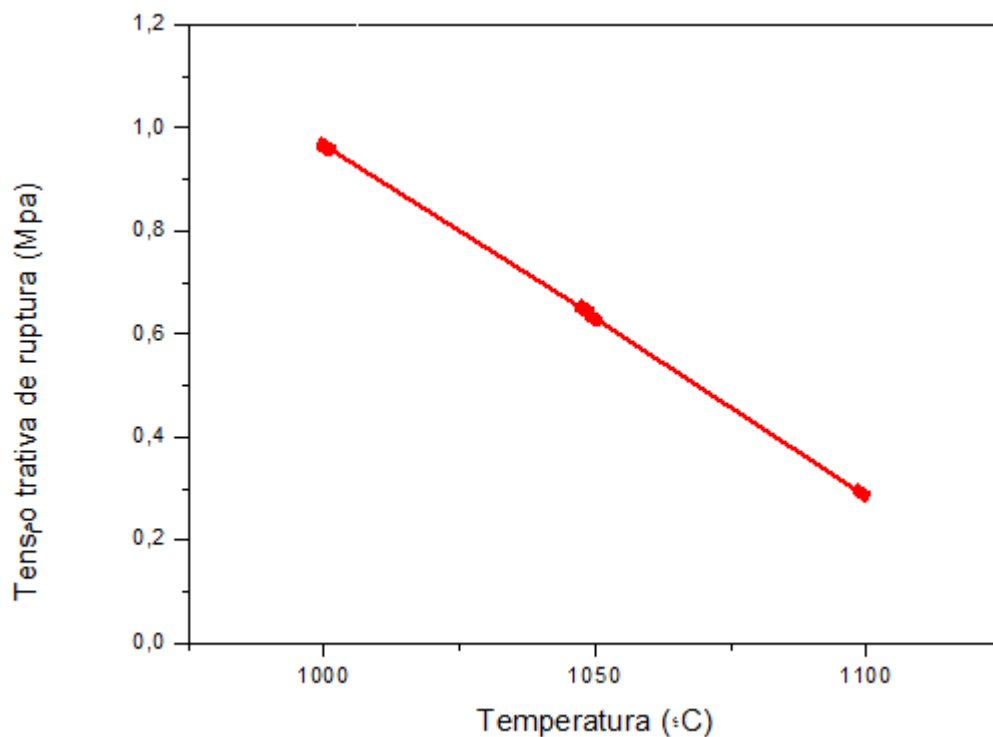


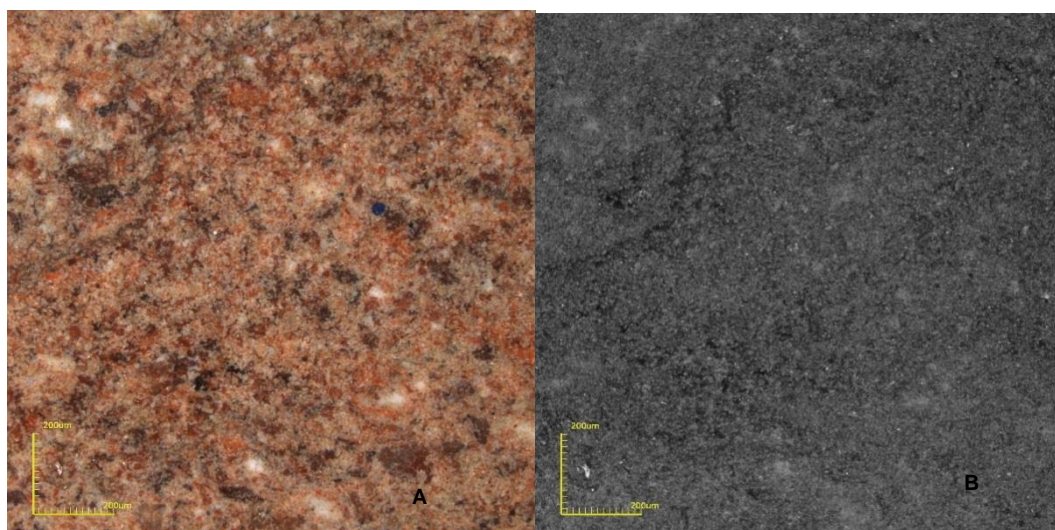
Figura 4.20 – Tensão à tração pelo método de compressão diametral das amostras de Silicato de Cálcio.

Tabela 4.6 – Tensão à tração pelo método de compressão diametral das amostras de Silicato de Cálcio.

Amostra (média)	Tensão (MPa)
1000°C	0,960
1050°C	0,644
1050°C	0,288

4.3.5 – Análise microestrutural

As Figuras 4.21 - 4.23 apresentam as imagens da fratura dos corpos-de-prova de silicato sintetizados a partir da mistura de grits e chamote obtidas através da microscopia confocal. Pode-se observar uma quantidade significativa de partículas brancas em todas as amostras, que podem ser de quartzo e/ou calcita (que não reagiu). Observa-se que de acordo com a elevação da temperatura, os materiais de silicato de cálcio sintetizados apresentaram uma cor mais clara e com alguns pontos mais escuros, comum em minerais que contém ferro. Observa-se ainda que nas temperaturas mais elevadas as partículas se apresentavam menores e mais aglomeradas.



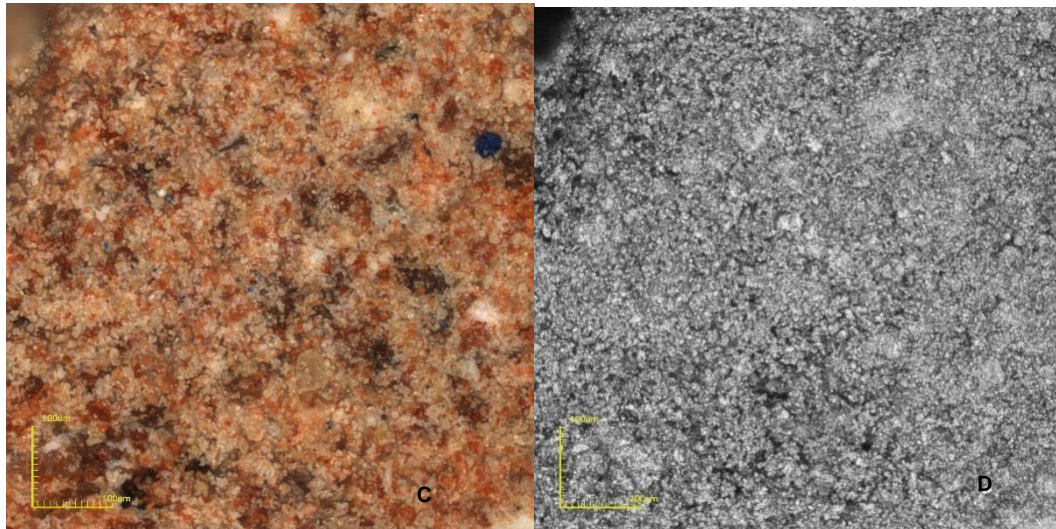
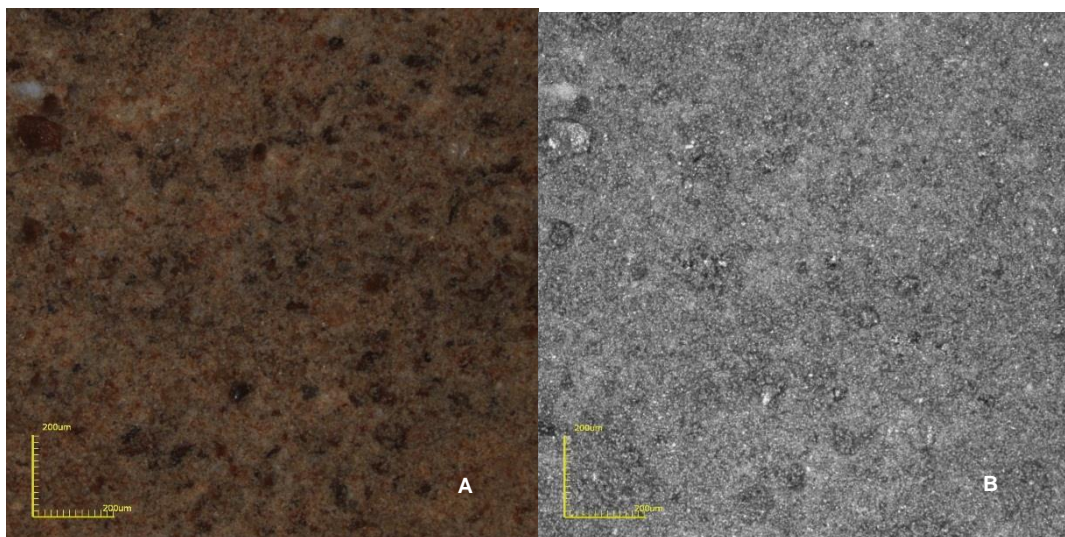


Figura 4.21 - Análise morfológica da fratura da peça de silicato de cálcio (1000°C). Aumento de (A) 216 X e (C) 430 X.



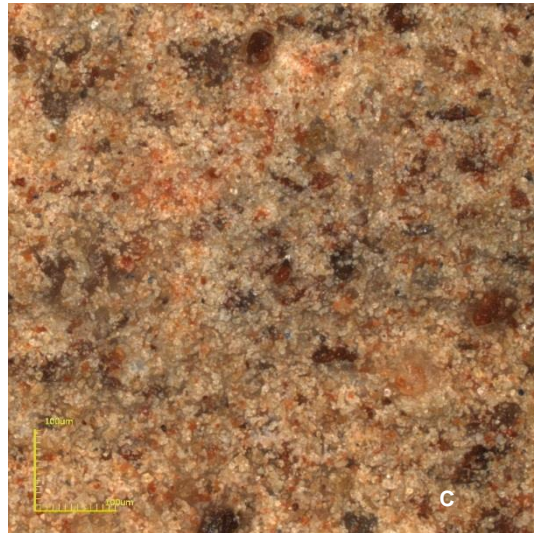
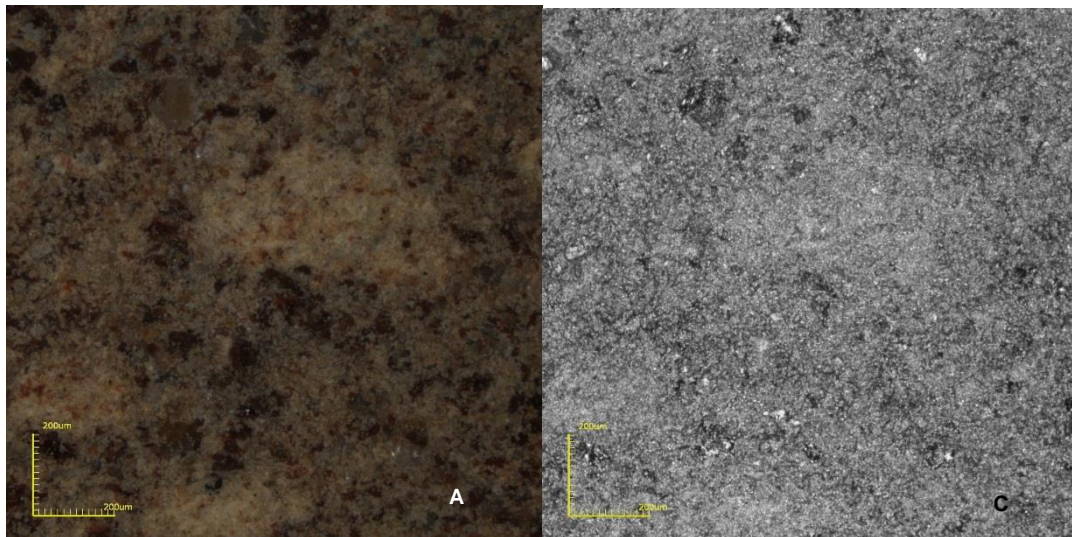


Figura 4.22 - Análise morfológica da fratura da peça de silicato de cálcio (1050°C). Aumento de (A) 216 X e (C) 430 X.



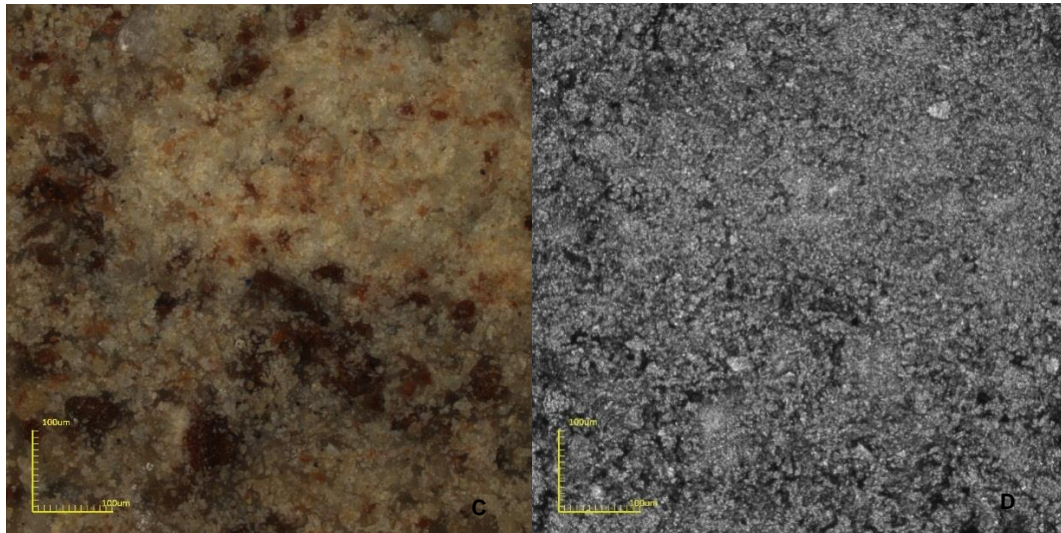
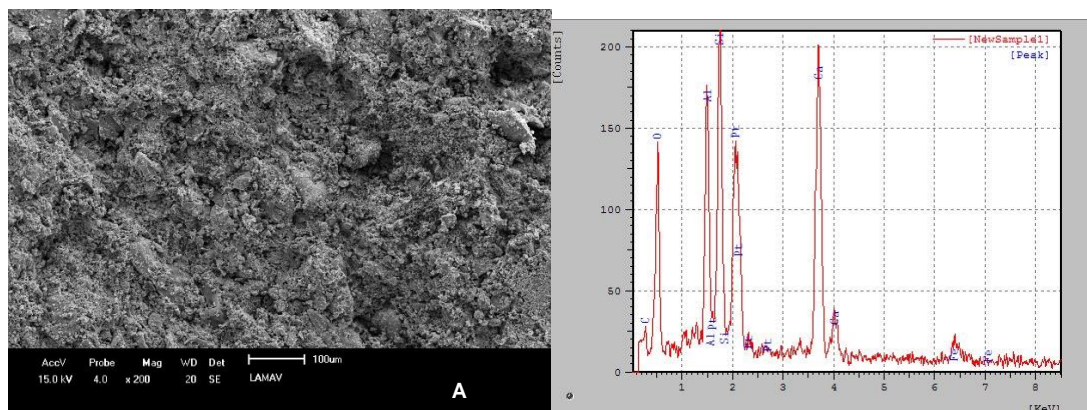


Figura 4.23 - Análise morfológica da fratura da peça de silicato de cálcio (1100°C). Aumento de (A) 216 X e (C) 430 X.

A Figuras 4.24 (A, B e C) apresentam as micrografias de microscopia eletrônica de varredora da superfície de fratura do material de silicato de cálcio, obtido a partir das sínteses de misturas de grits e chamote nas temperaturas de 1000 °C, 1050 °C e 1100 °C, respectivamente. Os resultados apresentados estão em conformidade com os valores de porosidade aparente encontrados na Figura 4.21. Pode-se observar que todas as peças analisadas apresentaram microestrutura porosa, mesmo com o aumento da temperatura.

Todos os mapeamentos por EDS apresentaram os elementos Si, Al, Ca, O, Fe, Pt, C, em maiores ou menores intensidades variando de uma temperatura para outra. Todos os elementos citados são os principais constituintes das fases formadas durante a sintetização desse novo material, exceto platina. Toda a platina detectada no EDS faz parte da metalização das amostras.



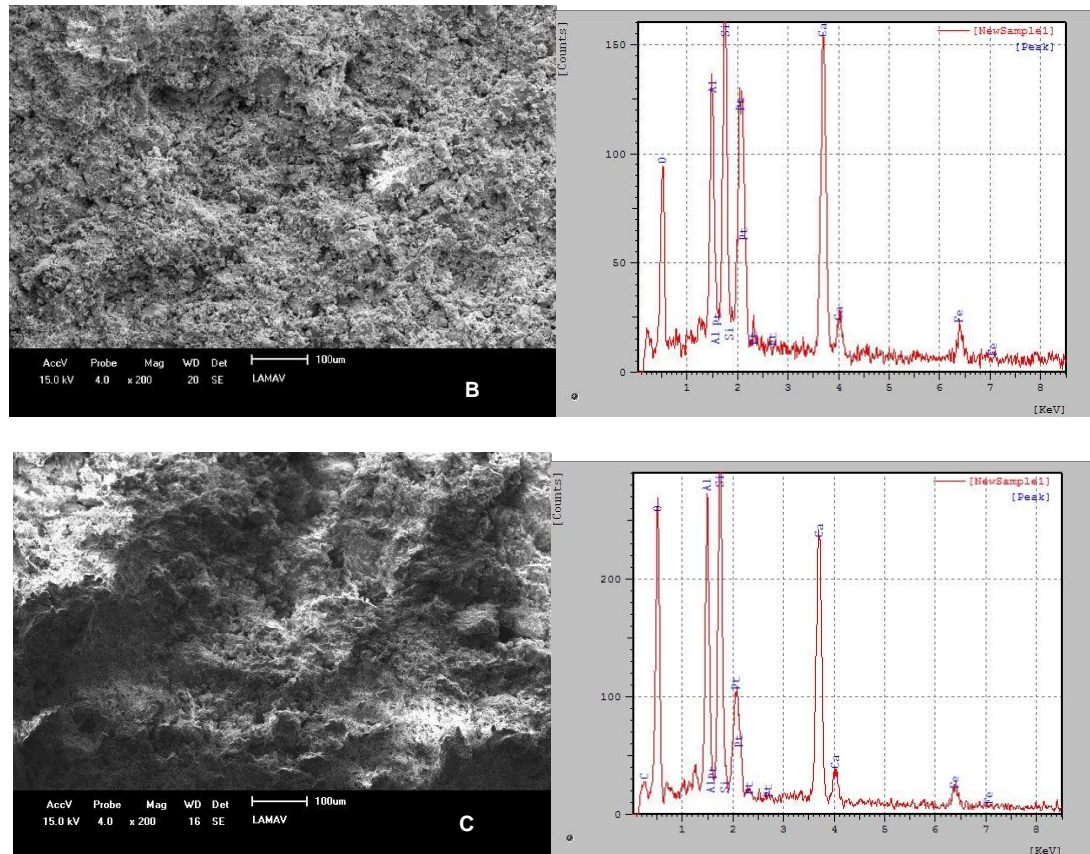


Figura 4.24 – Micrografia de MEV com aumento de 200x da superfície de fratura das peças de silicato de cálcio sintetizados com grits e chamote e seus respectivos EDS. (A) Sintetizado a 1000°C; (B) Sintetizado a 1050°C; (C) Sintetizado a 1100°C.

Capítulo 5. Conclusões

5.1 - Conclusões

Os resultados experimentais obtidos neste trabalho de dissertação de Mestrado permitem as seguintes conclusões:

1 - O resíduo sólido grits é composto principalmente de óxido de cálcio (CaO). Do ponto de vista mineralógico, é constituído essencialmente de material a base de cálcio, principalmente calcita (CaCO₃).

2 - O chamote é constituído principalmente por sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3). Do ponto de vista mineralógico, o chamote é constituído principalmente por quartzo e illita/mica.

3 - A análise mineralógica da mistura dos pós de chamote e grits, sintetizados nas temperaturas de 1000°C , 1050°C , 1100°C indicou que houve a formação do silicato de cálcio: Wollastonita (CaSiO_3), além de: gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi})\text{O}_7$), larnita (Ca_2SiO_4), ferrobustamita($(\text{Ca,Fe,Mn})_3\text{Si}_3\text{O}_9$)), anorthita ($\text{CaAl}_2(\text{SiO}_4)_2$), rankinita ($\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$).

4 – Houve melhor resistência mecânica dos corpos de prova produzidos com material de silicato de cálcio sintetizado a 1000°C . Essas peças apresentaram porosidade menor, e conseqüentemente, menor a absorção de água.

5 - O reuso dos resíduos sólidos grits e chamote na obtenção de material de silicato de cálcio pode ser uma alternativa tecnológica viável para o destino final destes resíduos.

5.2 - Sugestões para trabalhos futuros

1 – Realizar análise térmica: caracterizar o material de silicato de cálcio, quanto a Condutividade térmica, Efusividade térmica, Capacidade térmica e Difusividade térmica.

2 - Estudar a possibilidade de obtenção de silicatos com razões molares diferentes.

3 - Estudar a possibilidade de obter silicato de cálcio com outros resíduos ricos em carbonato de cálcio e sílica.

Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10007, Amostragem de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, RJ (2004).

Associação Brasileira de Cerâmica. Informações técnicas-Definição e classificação. Disponível em:

<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=4&submenu=46>

Acesso:

10/12/2013

Al-Homoud, M.S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*. Vol.40, pp 353-366 (2005).

Associação Nacional de Indústria Cerâmica, 2014. Disponível em: <http://www.anicer.com.br> Acesso em 20 de janeiro de 2014.

ABNT NBR 6508 – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação de Densidade dos grãos (1984).

ABNT NBR 7181 – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Análise granulométrica (1984).

ABNT NBR 10004 – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos sólidos (2004).

ABNT NBR 10836 – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação da resistência à compressão e a absorção de água. Método de ensaio (1994).

Assumpção, R.M.V; Pinho, M.R.R; Cahen, R.; Philipp, P. Celulose e Papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2 ed. São Paulo: IPT, 1:169-319

Bauer, L. A F. Materiais de Construção. 5ªed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000. 705p.

Bingham, P.A., Hand, R.J., Vitrification of toxic wastes: a brief review, *Advances in Applied Ceramics*, v. 105, n. 1, p. 21-31, 2006.

Cabral, A. E. B. (2007) Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD. Tese (Doutorado em Engenharia) — Universidade de São Carlos, Cabral, A. E. B. (2007) Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados,

considerando-se a variabilidade da composição do RCD. Tese (Doutorado em Engenharia) — Universidade de São Carlos.

Carleial & Cruz. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. *Relatório de Pesquisa sobre Pagamentos de Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos*, p.20. 2010.

Candido, V. S. et al. Desenvolvimento de adoquim cerâmico com argilas caulínica, chamote e argilito. *Cerâmica*, Jun 2013.

Campos, L.S., Caracterização Física, Química e Térmica do Resíduo Grits, Monografia, Programa de Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais-UENF, Campos dos Goytacazes-RJ, 2012.

Castro, R.J, Formulação e caracterização de matérias primas para revestimento semi-poroso com adição de chamote de telhas, Natal-RN, 2008.

Callister, W.D. Jr. Ciências e Tecnologia de Materiais: uma introdução. 5e. Ed. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A. (2002).

Cordeiro et al; Produção de papel e Celulose, UEA, Amapá, 2013.

Collatto, D.; Bergmann, C. P.; (2009) Emprego de resíduo de celulose da indústria de papel como matéria prima para fabricação de material cerâmico. *Revista Cerâmica Industrial*, v. 13, n. 3, p. 30-35.

Conceição, M.M. (2009) A Reciclagem dos Resíduos Sólidos Urbanos e o uso das Cooperativas de Reciclagem – Uma alternativa aos problemas do Meio Ambiente. *Centro Científico Conhecer - ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Goiânia.

Cunha, A.G; Cunha, R.R. Impermeabilização e isolamento térmico: materiais e especificações, 117 p (1997).

Destefani, A. Z; Santos, M.M.A; Holanda, J.N.F. (2010). Caracterização e avaliação do resíduo “grits” da indústria de celulose. 19º Congresso Brasileiro de

Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat, 21 a 25 de novembro de 2010, Campos do Jordão, SP, Brasil.

Destefani, A. Z; Santos, M.M.A; Holanda, J.N.F. (2010). Avaliação de propriedades tecnológicas de misturas de solo-cimento com adição do resíduo grits. Simpósio Matéria 2010 / 7º seminário rede PaCOS. Rio de Janeiro, v 15, p. 189.

Dondi, M., Marsigli, M., Fabbri, B., Recycling of industrial and urban wastes in brick production – a review, *Tile & Brick International*, v. 13, p. 218-225, 1997.

Felipe-Sesé, M., Eliche-Quesada, D., Corpas-Iglesias, F.A., The use of solid residues derived from different industrial activities to obtain calcium silicates for use as insulating construction materials, *Ceramics International*, 2011, In press.

Felipe-Sesé, M., Eliche-Quesada, D., Corpas-Iglesias, F.A., Obtención de silicatos de calcio empleando como precursores residuos sólidos. Influencia del mezclado de reactivos en fase seca o fase húmeda. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Vol 50, n 1, p. 41, Enero-Febrero. ISSN 2173.0431 (2011).

Ferreira et al; Modelagem numérica de um sistema de isolantes riser, UTFPR, Curitiba-PR, 2007.

Filho, F.R., A utilização de rejeito industrial cerâmico – chamote – como fator de qualidade na fabricação de elementos cerâmicos: um estudo experimental, *Cerâmica*, v. 43, n. 281-2, p. 132-138, 1997.

Gouveia, F. P. and Sposto, R. M. Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos: um estudo das propriedades físico-mecânicas. *Cerâmica*, Dez 2009.

Gomes, J. W. (1980) Tijolos de solo-cimento – solução para o problema habitacional de países em desenvolvimento.

Gullichen, J.; Fogelholm, C-J. (2000) Chemical pulping (book 6) in Papermaking science and technology. Helsinki: Fapet, 693 p.

Guedes, F.H. Reaproveitamento de resíduo de casca de ovo e chamote na produção de material cerâmico para isolamento térmica. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais- UENF, Campos dos Goytacazes-RJ, 2014.

Júnior, V.M.T., Mymrine, V., Ribeiro, R.A.C., Ponte, H,A. (2007). Reciclagem de Resíduos Industriais em Materiais Cerâmicos. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, ABC. Salvador. 8p.

Kreith, F. Princípios da Transmissão de Calor. 9ª.ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2008.

Lima, T. V. (2006) Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF.

Manhães, J. P. V. T.; Holanda, J. N. F. (2008) Caracterização e classificação de resíduo sólido de “pó de rocha granítica” gerado na indústria de rochas ornamentais. Química Nova, vol. 31, nº. 6, 1301-1304p.

Machado, C.C., Pires, J.M.M., Pereira, R.S., Fontes, M.P.F., Lima, D.C., (2006), Comportamento químico e ambiental de resíduos sólidos em pavimentos de estadas florestais. *Scientia Forestalis*, 70:131-136.

Melo, M. M. de et al. Análise microestrutural de misturas cerâmicas de grês porcelanato com adição de chamote de telhas cerâmicas. *Cerâmica*, Dez 2009.

Menezes, R.F; Modelagem do sistema de recuperação do licor de cozimento na produção de celulose, Rio Grande do Sul, 2005.

Menezes, R. R.; Almeida, R. R. DE; Santana, L. N. L., Ferreira , H. S.; Neves , G.A.; Ferreira, H. C. (2007) Utilização do Resíduo do Beneficiamento do Caulim na Produção de Blocos e Telhas Cerâmicos . *Revista Matéria*,

Motta, J.F.M; Zanardo, A.; Júnior, M.C. (2001) As matérias-primas cerâmicas. Parte I: o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus Produtos. Cerâmica industrial, São Carlos, v.6, n.2, mar./abr.

Monteiro; J. H. P. et al. *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

Modolo, R.C.E. (2006) Valorização de resíduos do sector de pasta e papel em produtos da construção civil. Tese (Mestrado em Gestão Ambiental Materiais e Valorização de Resíduos) – Universidade de Aveiro - UA, Portugal, 119p.

Neotérmica. Isolantes térmicos e revestimentos metálicos. Disponível: <http://www.neotermica.com.br/html/isolante-termico/silicato-de-calcio.html> Acessado em:21/01/2014

NEIRA, Dorivalda Santos Medeiros. Fibras de sisal (Agave Sisalana) como isolante térmico em tubulações. Dissertação. Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

Mello, M.M; Martinelli, A.E; Pinheiro, A.S; Nascimento, R.M; Vieira, F. A. (2008) Avaliação do efeito da adição de chamote de telha em formulação de grês porcelanato com queima a gás natural. Anais: 17º CB CIMat- Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais. Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

Oliveira, V. M. S.; Pardo, M. B. L. (2007) Fábrica de Cimento Portland: Impactos Ambientais e Gestão de Conflitos Ambientalistas no Bairro América (1975-1984). Scientia Plena. São Cristóvão.

Oliveira, M.C.R; Compósito de poliuretano de mamona e resíduo industrial para isolamento térmica e absorção sonora, Rio Grande do Norte, 2010.

Pereira, C & Bertan, F.M; Adição de chamote em massa cerâmica para produção de telha natural branca, Santa Catarina, 2012.

Pereira, R.S. (2005). Viabilidade técnica do emprego de resíduos da indústria de celulose para construção de estradas florestais. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 329p.

Perez, E.J.A., Terradas, R., Manent, M.R., Seijas, M., Martinez, S., Inertization of industrial wastes in ceramic materials, *Industrial Ceramics*, v. 16, n.1, p. 7-10, 1996.

Pracidelli, S. Cerâmica. Escola SENAI Mario Amato, SBC, 6 vol., S.P., 1990.

Propriedades Termofísicas de licor de celulose, Celulose on line, 2013. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/sms/files/file/dc417.pdf> Acesso em 20 de janeiro de 2014.

Pértile, P., Resíduo Alcalino da Indústria de Celulose em Solos Ácidos e Área Degradada, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - UDESC, Lages- SC, 2011.

Portilho, F. *Limites e possibilidades do consumo sustentável*. Apresentado no Programa de Educação Ambiental da Companhia Siderúrgica de Tubarão. Vitória, ES, 2004.

Ramos; I. S. Delimitação, Caracterização e Cubagem da Região de Exploração de Argila no Município de Campos dos Goytacazes. Dissertação (Mestrado), UENF, Campos dos Goytacazes, RJ; 2000.

Resíduos Sólidos Disponível em: http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/funasa/capitulo_4.pdf. Acesso em 20 de janeiro de 2014.

Rocha, E. G. A. Os Resíduos sólidos de construção e demolição: Gerenciamento, quantificação e caracterização. Um estudo de caso no Distrito Federal. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Brasília, Brasília, DF, 2006. 155f.

Saboya F., Xavier G.C., Alexandre J. (2007) - The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic. *Construction and Building Materials*, Volume 21, Issue 10.

Segadães, A.M., Use of phase diagrams to guide ceramic production from wastes, *Advances in Applied Ceramics*, v. 105, n. 1, p. 48-54, 2006.

Segadães, A.M; Pereira, F.R, Labrincha, J.A, Ceramic formulations prepared with industrial wastes and natural sub-products; *Ceramics International*; Volume 32, Issue 2, 2006.

Siqueira, F. B., Estudo da Incorporação de Resíduo Sólido de Grits nas propriedades e microestrutura de tijolo solo-cimento, Projeto de Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais-UENF, Campos dos Goytacazes-RJ, 2012.

Santos, P. S. Ciência e Tecnologia de Argilas, vol. 1, Ed. Edgard Bluccher Ltda., São Paulo, S. P., 1989.

Souza, G.P., Holanda, J.N.F., Densification behaviour of petroleum waste bearing clay-based ceramic bodies, *Ceramics International*, V. 30, N. 1, p. 99-104, 2005.

Souza, T.I, Cardoso, A.V, Utilização de Resíduos Sólidos da Indústria de Celulose Kraft na Fabricação de Cimento: Caracterização Físico-Química, 18° CBECiMat , Porto de Galinhas, PE, 2008.

STAPE, J. L.; BALLONI, E. A. O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, n. 40, p. 33-37, 1988.

Tomé Jr., J. B. (1997) Manual para interpretação de análise de solo. Livraria e Editora Agropecuária. Guaíba-RS,

Trigueiro, R. M. Efeito de “dregs e grits” nos atributos de um neossolo quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto. 2006. 73 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrônomicas) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

Torreira, R.P. Isolamento termico. São Paulo. Fulton Editora Técnica Ltda (1980).

Vieira, CM. Et al. Efeito da incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha. *Cerâmica*. Vol. 50, n315, p. 254-260. ISSN 0366-6913 (2004).

Vieira, C.M.F.; Monteiro, S.N. (2007) Effect of grog addition on the and microstructure of a red ceramic body for brick production. *Construction and Building Materials*.

Vieira, C. M. F.; Teixeiras, S. S.; Monteiro, S. N. (2009) Effect of the firing temperature on the properties and microstructure of red ceramic incorporated with grog. *Cerâmica*. vol.55.

Zonta, G.R; Silva, L.A; *Gestão de Resíduos Sólidos*, São Paulo, 2013.

