

INCORPORAÇÃO DE CINZA DE CAPIM-ELEFANTE EM
CERÂMICA VERMELHA

Karla Albernaz Sales

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

AGOSTO - 2013

INCORPORAÇÃO DE CINZA DE CAPIM-ELEFANTE EM CERÂMICA VERMELHA

Karla Albernaz Sales

“Proposta de Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.”

Área de concentração: Materiais e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Carlos Maurício Fontes Vieira

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Tavares Nogueira

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

AGOSTO - 2013

INCORPORAÇÃO DE CINZA DE CAPIM-ELEFANTE EM
CERÂMICA VERMELHA

Karla Albernaz Sales

Comissão Examinadora:

Alline Sardinha Cordeiro Morais (Doutoranda na área de Engenharia de
Materias)

Prof. Rodrigo Tavares Nogueira – (Doutor em Engenharia de produção)
Coorientador

Prof. Carlos Maurício Fontes Vieira (Ph. D. Eng. de Materiais de Metalúrgica) –
LAMAV/UENF- Orientador

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABELAS.....	9
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Aspectos Gerais.....	12
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS.....	15
2.1 Objetivos.....	15
2.2 Justificativas.....	15
CAPITULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 Argila.....	16
3.2 Argilominerais.....	16
3.3 Cerâmica.....	17
3.3.1 Classificação Geral do Setor Cerâmico.....	18
3.3.2 Cerâmica Vermelha.....	20
3.3.2.1 Técnicas de fabricação de Cerâmica Vermelha.....	21
3.4 Resíduos.....	22
3.4.1 Classificação de resíduos.....	22
3.4.2 Utilização de resíduos em cerâmica.....	23
3.5 Cinzas.....	25
3.5.1 Incorporação de cinzas em materiais cerâmicos.....	25
3.6 Biomassa.....	25
3.6.1 Capim-elefante.....	26
3.7 Análise Econômica.....	28
CAPÍTULO 4 – MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1 Materiais.....	30

4.2 Métodos.....	31
4.2.1 Análise mineralógica e morfológica da cinza.....	32
4.2.2 Análise da Composição Química – Fluorescência de raio-X (FRX)...	32
4.2.3 Análises Térmicas (TG/DTG).....	33
4.2.4 Composição investigadas.....	33
4.2.5 Dilatometria.....	34
4.2.6 Limite de Plasticidade e de Liquidez das massas.....	35
4.2.7 Preparação dos corpos de prova.....	37
4.2.8 Determinação das propriedades físicas e mecânicas.....	38
4.2.8.1 Densidade relativa a seco.....	38
4.2.8.2 Absorção de Água.....	39
4.2.8.3 Retração Linear pós Queima.....	40
4.2.8.4 Tensão de Ruptura à Flexão.....	40
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1 – Caracterização das Materiais-primas.....	41
5.1.1 Caracterização da Cinza.....	41
5.1.1.1 Caracterização mineralógica.....	41
5.1.1.2 Caracterização química.....	43
5.1.1.3 Caracterização física.....	44
5.1.1.4 Caracterização morfológica.....	45
5.1.2 Caracterização da Argila.....	49
5.1.2.1 Caracterização mineralógica.....	49
5.1.2.2 Caracterização química.....	51
5.1.2.3 Caracterização física.....	52
5.2 Propriedades físicas e mecânicas.....	53
5.2.1 Plasticidade.....	53
5.2.2 Dilatometria.....	55
5.2.3 Densidade relativa a seco.....	57
5.2.4 Absorção de água.....	57
5.2.5 Retração Linear de Queima.....	59
5.2.6 Tensão de ruptura à flexão.....	60

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	62
CAPÍTULO 7 – SUGESTÕES.....	64
CAPÍTULO 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Micrografia eletrônica de cristais de caulinita (Callister, 2008).....	17
Figura 2: Produtos a base de Cerâmica Vermelha: Bloco de vedação (a) ; Bloco estrutural (b) ; Bloco maciço (c) ; Telha colonial (d) . http://www.ceramicavermelha.com/produto.php?pro=41&tit=tit_1 . Acessado em 09 de maio de 2012.....	20
Figura 3: Imagem do Capim-Elefante da espécie <i>Pennisetum purpureum</i>	26
Figura 4: Ilustração do plantio à geração de energia pela biomassa Capim- elefante.Fonte: http://epocanegocios.globo.com/Revista/Common/0,,EMI131148-16368,00-O+CAPIM+QUE+GERA+ENERGIA.html	28
Figura 5: Fluxogramas das etapas experimentais envolvidas no projeto.....	30
Figura 6: Imagens do Capim-elefante utilizado no presente trabalho (a); Capim-elefante seco e picotado para queima (b) e; Forno tipo Abóboda (c).....	31
Figura 7: Imagem do equipamento dilatômetro utilizado no ensaio de dilatometria.....	35
Figura 8: Equipamentos para a determinação do limite de liquidez e plasticidade da massa argilosa. Fonte: http://www.geotecnia.ufba.br/imagens/equipamentos/Limite%20de%20Liquidez.jpg	36
Figura 9: Desenho esquemático da compactação por prensagem uniaxial de simples ação do	

pistão.....	37
Figura 10: Forno elétrico tipo mufla para queima dos corpos cerâmicos.....	38
Figura 11: Difratoograma de raio-X da cinza de Capim- elefante.....	42
Figura 12: Curvas de TG/ATD da Cinza de Capim- elefante.....	43
Figura 13: Distribuição granulométrica das partículas de cinza de Capim- elefante (9# (2mm), 10# (1,70mm), 24# (0,69mm), 35# (0,5mm), 42# (0,45mm), 100# (0,154 mm) e 250# (0,056mm)).....	44
Figura 14: Imagem a laser (a) e colorida (b) em microscópio confocal sob aumento x216 das partículas de cinza de Capim Elefante.....	45
Figura 15: Micrografia de MEV da cinza de Capim-elefante com mapeamento por EDS.....	46
Figura 16: Micrografia de MEV da cinza de Capim-elefante com EDS pontual.....	47
Figura 17: Micrografia de MEV da cinza de Capim-elefante com EDS pontual.....	48
Figura 18: Micrografia de MEV da cinza de Capim-elefante com EDS pontual.....	49
Figura 19: Difratoograma de raios-X da argila. C = Caulinita; Gi = Gibsita; Go = Goetita, Mi = Microclina, Mu = Muscovita, Mo = Montmorilonita Q = Quartzo.....	50
Figura 20: Curvas de ATD/TG/DTG da argila amarela de Campos dos Goytacazes – RJ.....	51
Figura 21: Curva de distribuição de tamanho das partículas da argila.....	53
Figura 22: Prognóstico de extrusão por meio dos limites de Atterberg.....	54
Figura 23: Aspecto da amostra antes e após o ensaio de dilatometria.....	55
Figura 24: Dilatometria das	

amostras.....	56
Figura 25: Densidade relativa a seco das composições.....	57
Figura 26: Absorção de Água dos corpos de prova de formulações 0%, 5%, 10% e 20% em função das temperaturas de queima: 650°C, 750°C, 850°C, 950°C e 1050°C.....	58
Figura 27: Retração linear dos corpos de prova de formulações 0%, 5%, 10% e 20% queimados nas temperaturas de 650°C, 750°C, 850°C, 950°C e 1050°C.....	59
Figura 28: Tensão de ruptura à flexão das composições em função da temperatura de queima.....	61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Percentuais de resíduo para incorporação nos corpos argilosos (C0A – argila com 0% de cinza; C5A – argila com 5% de cinza; C10A – argila com 10% de cinza; C20A – argila com 20% de cinza).....33

Tabela 2: Composição química da cinza de Capim-elefante (peso %).....43

Tabela 3: Composição química da argila (peso%).....52

RESUMO

Com a elevada demanda atual de energia, a matriz energética tem mudado. Há crescente busca por fontes de energias alternativas e renováveis. Recentemente, como exemplo de potencial energia renovável, tem-se a biomassa de Capim-elefante. No entanto, como qualquer material queimado, há geração de cinzas. E como alternativas para o destino ambientalmente correto desse material encontram-se, por exemplo, a agricultura, indústria cimentícia e cerâmica. O objetivo do presente estudo foi determinar o percentual ideal de cinza a ser incorporada, como sua influência nas propriedades físicas, químicas, mecânicas e ambientais em cerâmica argilosa utilizada para a fabricação de produtos destinados à construção civil como blocos de vedação e telhas. Para isso, corpos de prova foram preparados por prensagem uniaxial a 20 MPa a partir de diferentes composições de massa: 0, 5, 10 e 20% de resíduo com número de repetições igual a 7. Posteriormente, estes foram submetidos à sinterização em forno elétrico sob diferentes temperaturas (650, 750, 850, 950 e 1050°C). As propriedades físicas e mecânicas determinadas foram: densidade, retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão. Os resultados indicaram que a cinza investigada é constituída predominantemente de quartzo, carbonatos e fosfatos. Este resíduo ajusta a trabalhabilidade/plasticidade das argilas de Campos. Na etapa de queima, foi observado que a temperatura exerce uma significativa influência nas propriedades investigadas.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha, Capim-elefante, cinza.

ABSTRACT

With the current high demand of energy, the energy matrix has been changed. There is an increase demand for alternative and renewable energy sources. Recently an example of potential renewable energy source is the biomass of elephant grass. However, as well as any burned material, ashes are created. As environmentally correct alternatives to destination of this material are, for example, agriculture and cement and ceramic industries. The aim of this study was to determine the ideal percentage of ash to be incorporated, and its influence in physical, chemical, mechanical and environmental properties in clayey ceramic used for the manufacture of products for civil industry such as bricks and tiles. For this, specimens were prepared by uniaxial pressing-mold at 20MPa from different compositions of mass: 0, 5, 10 and 20% of residue, repeated seven times. Subsequently, they were subjected to sintering in an electric kiln at different temperatures (650, 750, 850, 950 and 1050° C). The physical and mechanical properties determined were: density, linear shrinkage, water absorption and flexural strength. The results indicated that the investigated ash consists predominantly of quartz, carbonates and phosphates. This residue adjusts the workability/plasticity of Campos clays. During the burning step, was observed that temperature has a significant influence on the investigated properties

Keywords: Red ceramic, Elephant grass, ashes.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos Gerais

O campo industrial da construção civil vem crescendo a cada dia, e com ele a necessidade de se obter matérias-primas que supram o mercado. Destacam-se como um dos setores desse campo, as indústrias de cerâmica. Logo, faz-se necessário uma melhor compreensão desse setor, mediante tamanha relevância da participação de seus elementos no campo da construção civil brasileira.

Ocorrida no século XVIII, a Revolução Industrial foi o grande marco responsável pelo “*start*” de toda uma cadeia energética, com o surgimento da máquina a vapor. Desse modo, iniciou-se uma exacerbada dilapidação dos estoques naturais de energia para o provimento das inúmeras sociedades de consumo emergentes. Nesse período da história, houve o surgimento do mercado capitalista tendo a energia como a protagonista da inserção das máquinas em substituição da força motriz de homens e animais.

Atualmente, a fonte de energia primordial e substancial não só do Brasil como do mundo é o petróleo. Concomitantemente, a necessidade de se suprir a demanda energética e os danos ambientais envolvidos – como aproximadamente 500 bilhões de toneladas de gases potencialmente nocivos despejados anualmente na atmosfera, como CO₂, CH₄, CO, SO_x, NO_x - só vem aumentando.

As atividades industriais e os fatores ambientais devem assumir uma relação de harmonia e parceria. Visto isso, em 1993 a World Business Council for Sustainable Development definiu “eco-eficiência” como “produção de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas, melhorem a qualidade de vida e, progressivamente, reduzam os impactos ecológicos e a intensidade de utilização de recurso ao longo do ciclo de vida

desses bens, até o nível compatível com a capacidade de carga estimada do planeta” (SEYE, 2003).

Dessa forma, nota-se uma maior preocupação no desenvolvimento da atividade industrial cerâmica. Determinadas observações são requeridas em relação às formas de utilização das matérias-primas utilizadas no processo (lenha e argila) e suas conseqüências socioambientais.

Segundo Marques e colaboradores (2009), um dos maiores desafios que iremos enfrentar serão a obtenção de um ambiente mais limpo e saudável e o desenvolvimento de novas fontes renováveis de energia e produtos químicos em todo o mundo.

Assim, para acompanhar a demanda industrial e minimizar danos ao ambiente, a matriz energética mundial tem mudado. Estudos recentes revelam, nas últimas décadas investimentos significativos em pesquisas sobre a utilização de fontes energéticas alternativas e renováveis visando a diminuição dos impactos ambientais (ALMEIDA & CLUA, 2006). Destaca-se entre estas, a energia eólica, energia solar e a biomassa como Eucalipto, Milho, Cana-de-açúcar e Capim Elefante (COELHO, 1999). Entretanto, a escolha da fonte energética renovável a ser utilizada envolve exigências legais nos âmbitos Federal, Estadual e Municipal de cada país.

O termo biomassa, segundo Vianna Junior e colaboradores (2000), se refere a toda e qualquer tipo de matéria orgânica renovável de origem vegetal, animal ou procedente da transformação natural ou artificial e do ponto de vista energético, que tenha as características supracitadas podendo ainda ser utilizada na produção de energia. A utilização da biomassa como fonte de energia, atualmente, chega a representar cerca de 11% da produção mundial. No Brasil, esse percentual chega a 28%. E desse, a maior parte é utilizada diretamente para aquecimento, preparação de alimentos e processos industriais, ou indiretamente para mover turbinas e produzir eletricidade (BRAGA, 2005).

No caso das indústrias de cerâmica vermelha, atualmente a lenha de eucalipto ainda permanece como o insumo energético mais utilizado. Devido à

exploração indiscriminada e a necessidade de se buscar alternativas energéticas mais eficientes a cada dia, surge a possibilidade de se utilizar outros tipos de biomassa. O Capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) é um exemplo.

A queima de biomassa acarreta geração de resíduos, cinzas. Estas cinzas são geralmente constituídas de elevada quantidade de sílica e de óxidos alcalinos e alcalino-terrosos. Como alternativas para a disposição final desse material encontram-se a agricultura, indústria cimentícia e a própria indústria cerâmica.

No presente estudo, propõe-se incorporar numa típica massa cerâmica de Campos dos Goytacazes - RJ a cinza proveniente da queima de Capim-elefante na própria indústria de cerâmica vermelha.

CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

2.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo geral caracterizar e incorporar em cerâmica argilosa, cinzas provenientes da queima de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum*). Para isso, alguns objetivos específicos serão descritos a seguir a fim de que as metas sejam alcançadas:

- Determinar as características físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas da cinza;
- Identificar a quantidade ideal a ser incorporada em função da plasticidade/trabalhabilidade da massa argilosa.
- Determinar as propriedades físicas, químicas, mecânicas, densidade, absorção de água, retração linear e tensão de ruptura à flexão da cerâmica queimada;

2.2 Justificativas

Como justificativas do presente estudo destacam-se:

- Valorização das cinzas como um subproduto;
- Destinação final ambientalmente correta do resíduo;
- Possibilidade de melhoria do processamento e da qualidade das cerâmicas fabricadas no município de Campos dos Goytacazes com a utilização das cinzas;
- Possibilidade de diversificação da produção com a fabricação de produtos de elevado valor agregado, tornando possível desenvolver uma massa cerâmica menos refratária.

CAPITULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico do trabalho contempla a revisão bibliográfica que tem por objetivo apresentar fundamentos básicos relacionados às matérias-primas, materiais cerâmicos e por fim o resíduo que será utilizado no estudo.

3.1 Argila

Argila é definida como rocha finamente dividida composta por aluminas (Al_2O_3) e sílica (SiO_2) contendo água quimicamente ligada e possuidoras de uma ampla faixa de características físicas, composições químicas e estruturas. Possuem diâmetro esférico equivalente menor que $2\mu\text{m}$ e além de serem constituídas em grande parte por argilominerais, são detentoras de algumas impurezas como compostos (geralmente óxidos) à base de bário, cálcio, sódio, potássio e ferro, e ainda alguma matéria orgânica. Os minerais a base de argila geralmente possuem estruturas cristalinas complicadas, todavia a que prevalece é uma estrutura em camadas (SANTOS, 1989).

Os produtos à base de argila, em sua maioria, possuem duas classificações abrangentes: os produtos estruturais à base de argila (tijolos de construção, telhas e tubulações de esgoto – aplicações onde a integridade estrutural é importante) e as louças brancas (porcelanas, louças de barro, louças para mesa, louças vitrificadas e louças sanitárias) que adquirem essa cor após cozimento em alta temperatura e em geral são recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor (CALLISTER, 2008). Os seguimentos do setor cerâmico serão detalhados mais adiante.

3.2 Argilominerais

Segundo Santos (1989), argilominerais ou minerais argilosos são silicatos de alumínio hidratados de rede cristalina lamelar ou de estrutura fibrosa, constituídos por folhas, planos ou camadas que se apresentam em cristais muito pequenos ($<2\mu\text{m}$) em forma de lâminas hexagonais e às vezes fibras.

Esses minerais desempenham duas funções muito importantes nos corpos cerâmicos. Quando água é adicionada, eles se tornam muito plásticos, uma condição denominada hidroplasticidade, que é muito importante durante as operações de conformação. E, além disso, eles se fundem a uma determinada faixa de temperatura contribuindo para que uma peça cerâmica densa e resistente possa ser produzida durante o cozimento sem que ocorra fusão completa, de tal maneira que a forma desejada é mantida. Um exemplo de mineral argiloso mais comum é a caulinita (Figura 1). Ela possui uma estrutura de silicatos, em lâmina com duas camadas, relativamente simples (CALLISTER, 2008)

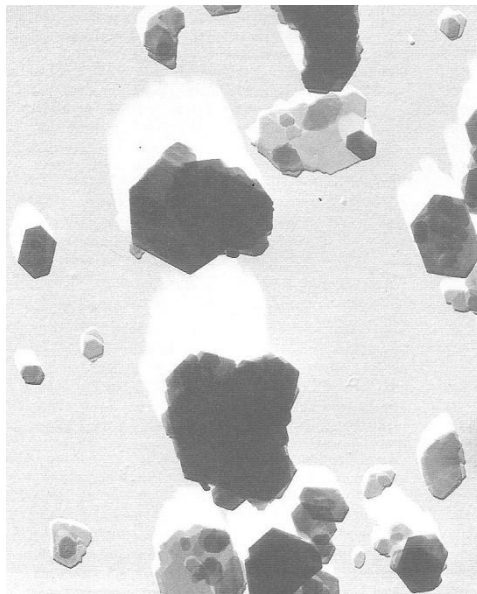


Figura 1: Micrografia eletrônica de cristais de caulinita (CALLISTER, 2008)

3.3 Cerâmica

Materiais cerâmicos são compostos formados entre elementos metálicos e não metálicos (na maioria das vezes são óxidos, nitretos e carbonetos), para os quais as ligações interatômicas ou são totalmente ou predominantemente

iônicas. Porém, possuem alguma natureza covalente e que ficam utilizáveis geralmente após tratamento térmico a elevadas temperaturas (BARRY & GRANT, 2007).

A Indústria Cerâmica tem papel relevante para a economia nacional, sendo um dos setores da Indústria da Construção Civil de expressiva participação no Produto Interno Bruto correspondente a 7% (ANICER, 2011).

3.3.1 Classificação Geral do Setor Cerâmico

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABC), o setor cerâmico é extremamente heterogêneo sendo classificado em nove segmentos diferentes mediante a função das matérias-primas, propriedades e áreas de aplicação.

- I) *Cerâmica Vermelha*: Compreende os materiais com coloração avermelhada, empregados na construção civil, tais como tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas, e utensílios de uso doméstico e decorativos.
- II) *Materiais de Revestimento*: São materiais mais elaborados em forma de placas, usados na construção civil para revestimento de pisos, paredes, bancadas e piscinas, tanto em ambientes internos como em externos: azulejo, pastilha, lajota, piso e grês porcelanato.
- III) *Cerâmica Branca*: é constituída por um corpo branco recoberto por uma camada vítrea transparente e incolor necessária por razões estéticas e/ou técnicas. Esse tipo de cerâmica é constituído por louças sanitárias, as de mesa, isoladores elétricos e cerâmicas artísticas, bem como as de finalidade química, elétricas, térmicas e mecânicas.
- IV) *Materiais Refratários*: aqueles que possuem a capacidade de suportar ciclos repetidos de aquecimento e resfriamento a temperaturas elevadas, o que envolve esforços mecânicos, ataques químicos e outras solicitações. Para suportá-las, vários tipos de

matérias-primas ou associações entre elas são utilizados. Dessa forma, podem-se categorizar quanto à matéria-prima ou ao componente químico principal: silicosos, aluminosos, silicoaluminosos, cromítico-magnesianos, zircônicos, dentre outros.

- v) *Isolantes Térmicos*: são divididos em não-refratários e fibras ou lãs cerâmicas, com características físicas que os permitem suportar temperaturas de utilização acima de 2000°C.
- vi) *Fritas e Corantes*: o primeiro é definido como vidro moído, fabricado a partir da fusão de diferentes matérias-primas. É aplicado à superfície do corpo cerâmico que, pós queima, adquire aspecto vítreo. Este acabamento é meramente estético, mas torna a peça impermeável e aumenta a resistência mecânica e já os corantes, são óxidos puros ou pigmentos inorgânicos sintéticos, obtidos por calcinação e moagem, adicionados aos esmaltes (fritas) e aos biscoitos cerâmicos.
- vii) *Abrasivos*: alguns são obtidos a partir de matérias-primas cerâmicas e por processos semelhantes aos da cerâmica. Ex.: óxido de alumínio eletrofundido e o carbetto de silício.
- viii) *Vidro, Cimento e Cal*: Apesar de serem importantes segmentos cerâmicos, por suas peculiaridades não são, em geral, enquadrados como tal, e sim considerados como segmentos autônomos (SILVA, 2009).

Segundo estimativas realizadas pelo SEBRAE (2008), o setor cerâmico só em 2006 foi responsável pelo consumo de aproximadamente 50% de toda energia do país proveniente da queima da lenha, seguida pelo gás natural (26%) e óleo combustível. Em função da representatividade dos volumes de consumo de lenha, a atividade cerâmica deve ter especial atenção quanto aos problemas ambientais causados por sua queima, em função da produção de cinzas, óxidos de enxofre, dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio, causadores de chuva ácida e de danos à camada de ozônio (SEBRAE, 2008).

3.3.2 Cerâmica vermelha

Como um dos objetivos do presente estudo consiste em estudar os efeitos da incorporação de um resíduo em cerâmica vermelha, a seguir será mais bem detalhado esse seguimento.

Segundo a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (2012), a indústria de cerâmica vermelha representa 4,8% da indústria da construção civil que é responsável por 7,3% do PIB nacional (R\$ 3 675 trilhões em 2010 – Fonte: IBGE). Esse setor emprega 293 mil empregos diretos e cerca de 1,25 milhões de empregos indiretos que por mês são responsáveis pela confecção média de 4 milhões de tijolos, 1,3 milhões de telhas e 325,5 Km de tubos.

Na Figura 2 estão ilustrados os principais produtos de cerâmica vermelha também conhecida como cerâmica estrutural.

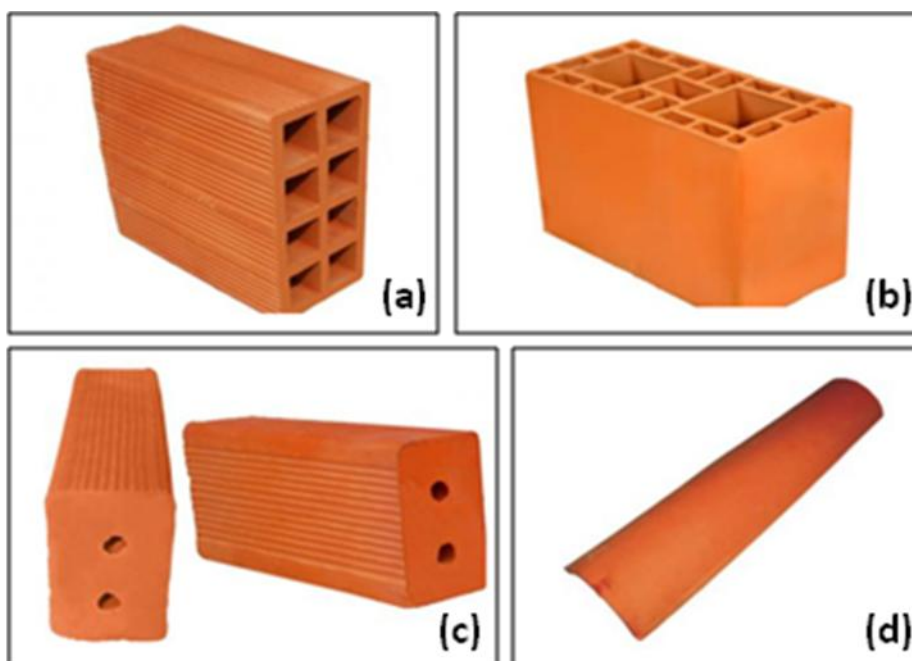


Figura 2: Produtos a base de Cerâmica Vermelha: Bloco de vedação **(a)**; Bloco estrutural **(b)**; Bloco maciço **(c)**; Telha colonial **(d)**. http://www.ceramicavermelha.com/produto.php?pro=41&tit=tit_1. Acessado em 09 de maio de 2012.

Através de descrições da literatura, observa-se que o setor de cerâmica vermelha, é capaz de absorver com grande facilidade incorporação de materiais alternativos em sua formulação (DONDI, 1997), de forma que uma das propriedades das argilas que favorecem a inertização dos resíduos é a capacidade de troca de íons.

3.3.2.1 Técnicas de Fabricação de Cerâmica Vermelha

Para confecção de uma cerâmica ou cerâmica estrutural são necessárias basicamente quatro etapas: preparação da massa, conformação das peças, secagem e queima.

As etapas de preparação da massa incluem submissão da matéria-prima a uma operação de moagem ou de trituração, onde os tamanhos das partículas são reduzidos. Dessa forma, o procedimento é seguido por peneiramento ou classificação granulométrica, com o objetivo de produzir um produto pulverizado com a faixa de tamanho das partículas desejada (CALLISTER, 2008).

Com a finalidade de conformação das peças, nos sistemas multicompetentes, os pós devem ser completamente misturados com água e, talvez, com outros componentes, a fim de produzir características de escoamento compatíveis com a técnica de conformação específica. A peça conformada deve possuir resistência mecânica suficiente para permanecer intacta durante as operações de transporte, secagem e cozimento. Duas técnicas usuais de modelagem são utilizadas para a conformação de cerâmica vermelha: a extrusão e prensagem (CALLISTER, 2008).

Após a conformação, as peças cerâmicas são submetidas a um processo de secagem que auxiliará a remover algum líquido, o qual foi adicionado para auxiliar na operação da etapa anterior. Assim, a água contida entre as partículas de argila, nesse processo, é removida. Logo, a separação entre as partículas diminuem, o que se manifesta na peça como contração (CALLISTER, 2008).

A última etapa que compõe o processo de fabricação da cerâmica é a queima ou cozimento que é conduzido normalmente a uma temperatura entre 900 a 1400°C. No entanto, a temperatura exata dependerá da composição e das propriedades desejadas para a peça acabada. Assim, a massa específica e a resistência são melhoradas como resultado de um tratamento térmico à alta temperatura (CALLISTER, 2008).

3.4 Resíduos

Conforme a norma brasileira NBR 10004 (2004), resíduos sólidos são “... resíduos, nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos, nessa definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados com 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 da melhor tecnologia disponível”.

3.4.1 Classificação de resíduos

Resíduos sólidos podem ser classificados de diversas maneiras. Dependendo da metodologia do autor, pode ser pela: fonte de geração, o local de produção, os aspectos sanitários, econômicos e de incineração, o grau de biodegradabilidade, a combustibilidade, entre outros aspectos.

De acordo com o tratamento e a disposição de resíduos em condições satisfatórias dos pontos de vistas ecológico, sanitário e econômico, a norma brasileira NBR 10004(2004) distingue resíduos em:

Resíduos Classe I ou perigosos e Resíduos Classe II ou não-perigosos. Este último por sua vez é subdividido em Resíduos classe II A ou Não inerte e Resíduos classe II B ou Inerte.

- “Resíduos Classe I ou Perigosos: São constituídos por aqueles que, isoladamente ou por mistura, em função de suas características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, radioatividade e patogenicidade em geral, podem apresentar riscos à saúde pública (com aumento de mortalidade ou de morbidade) ou efeitos adversos ao meio ambiente, se manuseados ou dispostos sem os devidos cuidados.”
- “Resíduos Classe II A ou não-inerte: não se enquadram nas definições da Classe I e Classe II B. Apresentam propriedades de solubilidade em água ou combustibilidade e biodegradabilidade.”
- “Resíduos Classe II B ou Inertes: são resíduos que submetidos a um teste de solubilização não tenham nenhum dos seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões. Exemplos: rochas, tijolos, vidros, alguns tipos de plásticos e borrachas. São aqueles que quando depositados em aterro, não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas importantes.”

3.4.2 Utilização de resíduos em cerâmica

A incorporação de resíduos de atividades industriais em produtos cerâmicos é uma tecnologia alternativa para reduzir impactos ambientais, como destruição de paisagem, fauna e flora causada por sua disposição indiscriminada. Também consiste numa forma de reciclagem de matérias atendendo exigências de órgãos ambientais (VIEIRA *et. al.* 2007). Segundo Saidelles e colaboradores (2012), uma das formas de minimizar os impactos é a preservação dos recursos naturais ou a reutilização de resíduos.

Segundo Dondi *et. al.* (1997a; 1997b) os resíduos podem ser classificados como resíduos combustíveis, resíduos fundentes, resíduos de cinzas volantes e resíduos de redução da plasticidade/plastificante.

Além de resíduos combustíveis e fundentes, uma categoria de resíduos que afetam as propriedades das cerâmicas substituiu o originalmente proposto

pelas categoriais de resíduos de cinzas volantes e resíduos de redução da plasticidade/plastificante.

A nova classificação dividiu os resíduos em: resíduos combustíveis, resíduos fundentes e por fim resíduos que afetam as propriedades das cerâmicas. Os resíduos combustíveis possuem carbonáceo (matéria combustível que contém carbono). Dessa forma, contribuem energeticamente para o processo de sinterização da cerâmica. São eles: resíduos oleosos (derivados do petróleo), resíduos de lama de alto forno e resíduos de papel; os resíduos fundentes, apresentam teor de compostos alcalinos e alcalino-terrosos que auxiliam no processo de sinterização, reduzindo a temperatura de sinterização, através do aparecimento de uma fase líquida. São eles: resíduos de lamas de rochas ornamentais, resíduos de vidros, cinzas fundentes e resíduos contendo Boro.

Já a última categoria que são os resíduos que afetam as propriedades, apresentam substâncias que modificam o comportamento da cerâmica, e não pode ser incluída nas categorias supracitadas. São eles: chamote, lodo de estação de tratamento de água, lama e escória do refino do aço, cinzas não-fundentes (bagaço da cana-de-açúcar, por exemplo), resíduos do processo de mineração (resíduos de ferro, cobre, manganês, etc.), lama do processo galvânico, lama de indústria têxtil, lodo de curtume, sobras de construção e demolição e rejeito de areia do processo metalúrgico de redução de minérios.

Quando depositados em locais impróprios, resíduos, de maneira geral, podem causar uma série de danos à saúde humana e também ao meio ambiente como contaminação do ar e de lençóis freáticos, contaminação do solo, assoreamento de rios e de lagos. Dentre esses e outros motivos, uma das práticas estudadas para destinação correta destes resíduos tem sido a utilização em materiais da construção civil, como por exemplo, blocos de vedação e telhas à base de argilas (DONDI, 1997).

3.5 Cinzas

Cinza é um tipo de resíduo sólido que dependendo de sua composição pode causar poluição atmosférica, gerando sérios problemas à saúde da população humana e também contaminação de solos e da água subterrânea. Elas são geralmente constituídas de elevada quantidade de sílica e de óxidos alcalinos e alcalino-terrosos. Cinzas como as de carvão mineral, por exemplo, são classificadas em cinzas volantes (possuem texturas menos espessas e são arrastadas facilmente pelos gases da fornalha da caldeira) e cinzas pesadas (apresentam textura grosseira e se depositam no fundo das caldeiras) (SILVA *et. al.*1999; VIEIRA *et. al.* 2007).

3.5.1 Incorporação de cinzas em materiais cerâmicos

Uma tecnologia alternativa que tem sido estudada com a finalidade de reduzir o impacto ambiental causado pela disposição indiscriminada de cinzas é a incorporação em cerâmica. As utilizações das cinzas permitem a redução da disposição inadequada em pátios industriais como diminuição na extração de matérias-primas para confecção cerâmica, além de possibilitar possível melhoria na qualidade nesses produtos.

3.6 Biomassa

O termo biomassa em sentido amplo é definido como qualquer tipo de matéria orgânica renovável de origem vegetal, animal ou procedente da transformação natural ou artificial da mesma (VIANNA JÚNIOR *et. al.*, 2000). Essa matéria é produzida por todos os seres vivos em seus diferentes processos, desde quando fixa energia solar nas moléculas constituintes de suas células, passando por todas as etapas da cadeia alimentar, ou trófica (BRISTOTI & SILVA, 1993). Outros autores, no entanto, definem biomassa como qualquer material derivado da vida vegetal e que seja renovável em um período de tempo inferior a 100 anos (KLASS, 1998).

A biomassa possui ampla aplicabilidade, podendo ser empregada no segmento agroindustrial, zootécnico e produção de energia alternativa complementar ou substitutiva ao petróleo. Nesse sentido várias frentes de pesquisas atuais estudam a utilização desse material como fonte propulsora de energia limpa.

3.6.1 Capim-elefante

O Capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) é uma gramínea perene de origem africana introduzida no Brasil em 1920 (Figura 3). O gênero *Pennisetum* é um dos mais importantes entre as gramíneas tropicais, pois encontra-se presente em praticamente todos os estados brasileiros .Esse gênero possui aproximadamente 140 espécies(SILVA,2013).



Figura 3: Imagem do Capim-Elefante da espécie *Pennisetum purpureum*.Fonte: SILVA,2013

O capim elefante tem sido inicialmente explorado quanto ao seu potencial energético. Ele dispõe de duas importantes características: além de ser um combustível renovável, descoberto há aproximadamente 15 anos como tal, favorece a diminuição da poluição, pois contribui para a retirada do carbono da atmosfera. Com o preparo da terra, o plantio, a colheita e a secagem, o custo da tonelada de massa seca do capim custa em torno de R\$ 26,00

enquanto que o custo da mesma quantidade de eucalipto chega a R\$ 125,00. Entre os benefícios supracitados também se inclui o tempo de retorno do investimento, que é baixo. Para o eucalipto, o tempo de espera mínima chega a quatro anos, enquanto que para o capim-elefante o primeiro corte ocorre de 120 a 180 dias após o plantio. Dessa forma, estima-se obter, por ano, em condições ótimas, até 50 toneladas de biomassa seca (ANICER, 2012).

Atualmente a lenha ainda permanece como o insumo energético mais utilizado no caso das indústrias de cerâmica vermelha. Entretanto, os estados do Rio de Janeiro, Goiás, Mato Grosso, São Paulo e Bahia já vem se destacando por serem as primeiras localidades em que o capim elefante está sendo inserido no setor cerâmico.

A seguir, através da Figura 4, uma pequena ilustração do beneficiamento da biomassa Capim-elefante e seu potencial energético a partir do cultivo de um hectare.

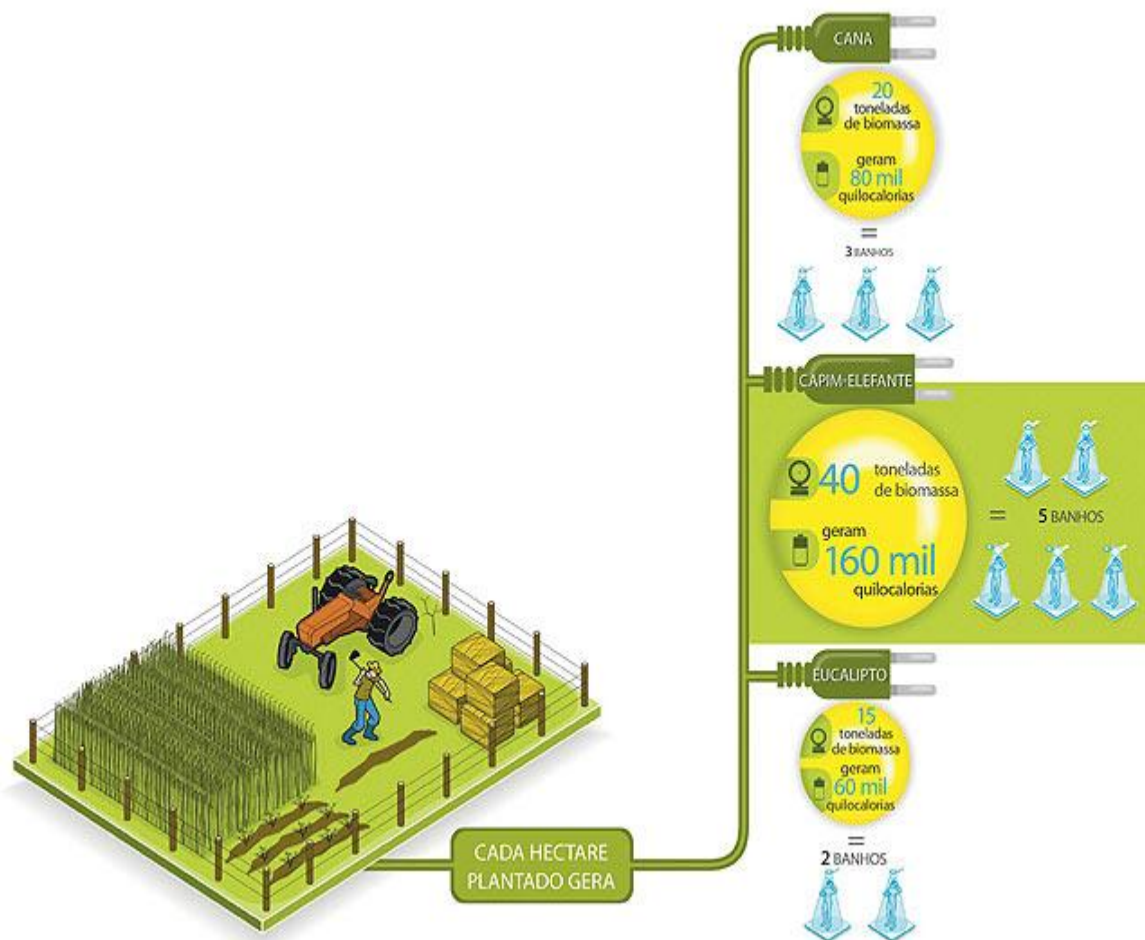


Figura 4: Ilustração do plantio à geração de energia pela biomassa Capim-elefante. Fonte: <http://epocanegocios.globo.com/Revista/Common/0,,EMI131148-16368,00-O+CAPIM+QUE+GERA+ENERGIA.html>

3.7 Na Análise Econômica

Para qualquer alteração de um método ou processo de trabalho, é necessário verificar, antes mesmo de tomar qualquer decisão, se existe vantagem na mudança pretendida e também se o resultado da mesma trará algum benefício lucrativo. (MACEDO, 2009)

Sendo assim, Junior (1986, p. 15), define viabilidade econômica como: “um conjunto de técnicas, que permite a comparação entre os resultados obtidos nas alternativas possíveis de solução de um problema, possibilitando a tomada de decisões de maneira científica”.

Portando para o projeto em questão, como trata-se do estudo da viabilidade econômica na modificação de um processo ou método de trabalho já existente, há fatores relevantes que merecem a devida atenção ao longo do seu desenvolvimento. Esses fatores de acordo com Júnior (1986, p.28-31) são relativos a:

- Mão de obra direta: trata-se de uma variável que dependendo a mudança adotada, esta poderá ser ampliada ou reduzida, segundo a demanda, esse é um fator que impacta diretamente no custo fazendo este oscilar, de acordo com a alteração da variável em questão.
- Tempo de produção: se refere ao tempo necessário para o processo de produção, de acordo com a mudança proposta esse tempo pode variar impactando nos gastos quando computado o resultado final.
- Matéria prima: dependendo da matéria prima utilizada no processo, o resultado ao fim da produção pode ter custos diferentes.
- Investimento: elemento importante no calculo da viabilidade, pois trata-se do capital que deve ser aplicado, possibilitando a alteração do método ou processo de produção.
- Tempo de amortização do investimento: refere-se em quanto tempo o capital aplicado estará retornado na mão do investidor após sua aplicação para tal modificação.

Para esse investimento na execução da alteração de um método ou processo de trabalho já existente, deve-se levar em consideração se a indústria a sofrer modificação, possui uma estrutura já pré adequada, caso não, a mudança torna-se dificultosa em demasia ou até mesmo impraticável.(MACEDO,2009).

CAPÍTULO 4 – MATERIAL E MÉTODOS

A seguir serão descritos os materiais e a metodologia que foi abordada para a realização deste trabalho. A Figura 5 apresenta o fluxograma das etapas que foram desenvolvidas.

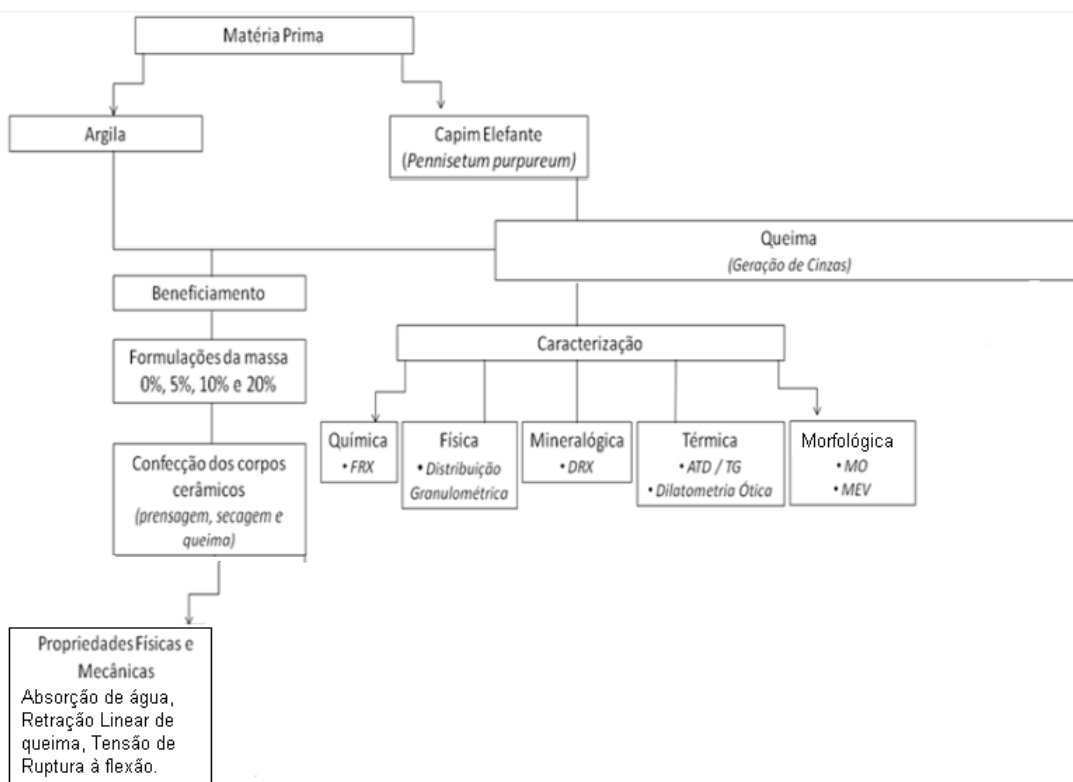


Figura 5: Fluxogramas das etapas experimentais envolvidas no projeto. Fonte: Próprio autor.

4.1 Materiais

Como matérias-primas para realização do presente trabalho foram utilizadas cinza de Capim-elefante e argila. O Capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) para obtenção das cinzas foi proveniente do Colégio Técnico

Agrícola localizado na cidade de Campos dos Goytacazes - RJ e posteriormente queimado em forno industrial de cerâmica vermelha (Figura 6) sob temperaturas que variaram até 950°C. E a argila utilizada para a confecção dos corpos cerâmicos foi a argila amarela fornecida pela Cerâmica Sardinha, de Campos dos Goytacazes-RJ.

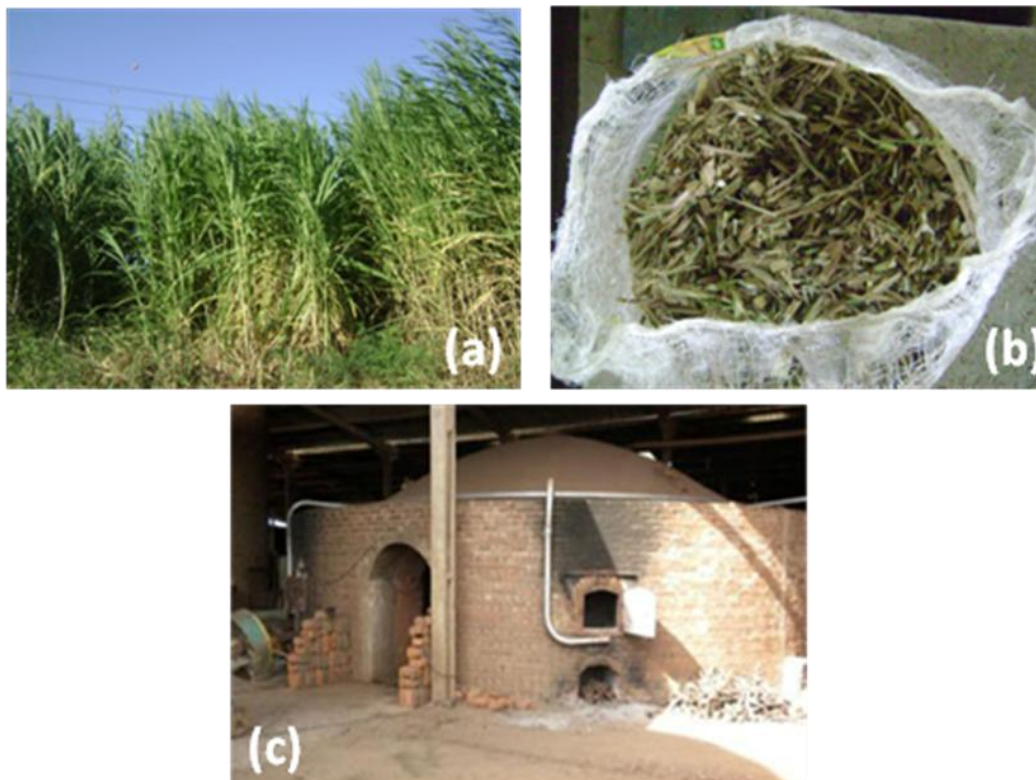


Figura 6: Imagens do Capim-elefante utilizado no presente trabalho (a); Capim-elefante seco e picotado para queima (b) e; Forno tipo Abóboda (c).
Fonte:Próprio autor.

4.2 Métodos

A metodologia descrita a seguir, para a caracterização das matérias-primas e formulações da massa, foi adotada com o objetivo de determinar as propriedades químicas, mineralógica, térmica, morfológica e ambiental da cinza e análises mecânica, térmica, morfológica, mineralógica e ambiental dos corpos cerâmicos, além de propriedades como plasticidade, densidade, retração e tensão de ruptura.

4.2.1 Análise mineralógica e morfológica da cinza

As cinzas foram inicialmente caracterizadas em termos de sua estrutura mineralógica e morfológica. A composição mineralógica foi determinada por fluorescência de raio-X em equipamento de modelo PW Phillips 2400. A identificação da fase qualitativa desse material foi realizada por difração de raio X (DRX). Dessa forma, o DRX foi conduzido nas amostras em forma de pó através de um difratômetro marca SHIMADZU, modelo XRD-7000, operando com radiação de Cu-K α , e 2θ variando de 5° a 85°. As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 (8) em software BrukerDiffracPlus. A morfologia da cinza foi caracterizada por microscopia multifocal a laser modelo Lext 3D OSL4000 marca Olympus e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de alta resolução no equipamento Jeol JSM-6330F.

4.2.2 Análise da Composição Química – Fluorescência de raios-X (FRX)

A composição química do material foi obtida a partir de análise por fluorescência de raios-X. O equipamento utilizado foi um Espectrômetro por Fluorescência de Raios-X PW2400 da Philips, do Depto. de Geologia da UFRJ, que é munido de tubo de Rh de 3 KW de potência, seis cristais analisadores e dois detetores (selado e fluxo). O software utilizado para as análises foi o SemiQ, desenvolvido pela Philips e que acompanha o equipamento.

A perda ao fogo foi determinada através da obtenção do peso da amostra antes e depois da mesma ser levada a 950°C por meia hora. Os elementos foram detectados a partir da fusão de 1,0 g de pó do material misturados com 7g de tetraborato de lítio. As condições analíticas para a dosagem dos elementos presentes nas amostras foram: detetores selado e de fluxo, cristais analisadores PET, Ge, PX1, PX3 e LIF200 e potência do tubo 24 KV e 90 mA ou 50 KV e 50 mA, dependendo do elemento químico a ser detectado. Com base em análises de padrões, o erro analítico relativo estimado é: Si, Al (<1%), Fe, Mg, Ca (1-2%), Ti, Na, K (3-5%), P e outros elementos

traços ($\leq 6\%$). As curvas de calibração foram obtidas a partir da análise de padrões de óxidos puros dos elementos.

4.2.3 Análises Térmicas (TG/DTG)

Concomitantemente foram realizadas Análises Térmicas diferenciais e Termogravimétricas (TG/DTG) da amostra das cinzas, onde 25g do material peneirado a 200mesh (75 μm) foram conduzidos simultaneamente em um analisador térmico de modelo TA SDT 2960 operando sobre o fluxo de argônio (100 mL.min⁻¹) a uma taxa de aquecimento de 10°C /min até a temperatura máxima de 1050°C. As amostras foram analisadas no Laboratório de Análises Térmicas de Materiais e processos da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

4.2.4 Composições investigadas

Com a finalidade de incorporação do resíduo de cinza nas massas argilosas, foram estudadas quatro diferentes formulações (tabela 1).

Tabela 1: Percentuais de resíduo para incorporação nos corpos argilosos (A0 – argila com 0% de cinza; A5 – argila com 5% de cinza; A10 – argila com 10% de cinza; A20 – argila com 20% de cinza). Fonte:Próprio autor.

Materiais para os corpos cerâmicos	Composições %			
	A0	A5	A10	A20
Argila	100	95	90	80
Cinza	0	5	10	20

4.2.5 Dilatometria

Os ensaios de dilatometria foram realizados no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Estadual de São Paulo – USP (Figura 7). Essa técnica consiste na mudança das dimensões de uma amostra que é submetida a uma programação controlada de temperatura e medida em função do tempo.

A mudança de comprimento da amostra é usualmente expressada como:

$$\text{MUDANÇA DE COMPRIMENTO} = (L_T - L_0) / L_0 \quad (\text{equação 1})$$

Onde L_T é o comprimento à temperatura T e L_0 é o comprimento em alguma temperatura padrão, geralmente 25°C . O Coeficiente de expansão α , a dada temperatura, é a derivada da equação (1) pela temperatura.

Foram confeccionados quatro Corpos-de-prova prismáticos para as composições de 0, 10 e 20% de cinza incorporada à massa argilosa em matriz de aço caborno. Foi utilizada tensão de compressão de 45 MPa para modelamento. O ensaio de dilatometria foi realizado em um Dilatômetro Linseis L75 Platinum Series conectado a uma fonte de energia modelo Linseis Thyristor – Power Supply L70/2171 sob aquecimento ao ar a uma taxa de $3^\circ\text{C}/\text{min}$ até 1100°C permanecendo durante 10 minutos nesta temperatura. Posteriormente o resfriamento foi realizado dentro do forno, após seu desligamento.

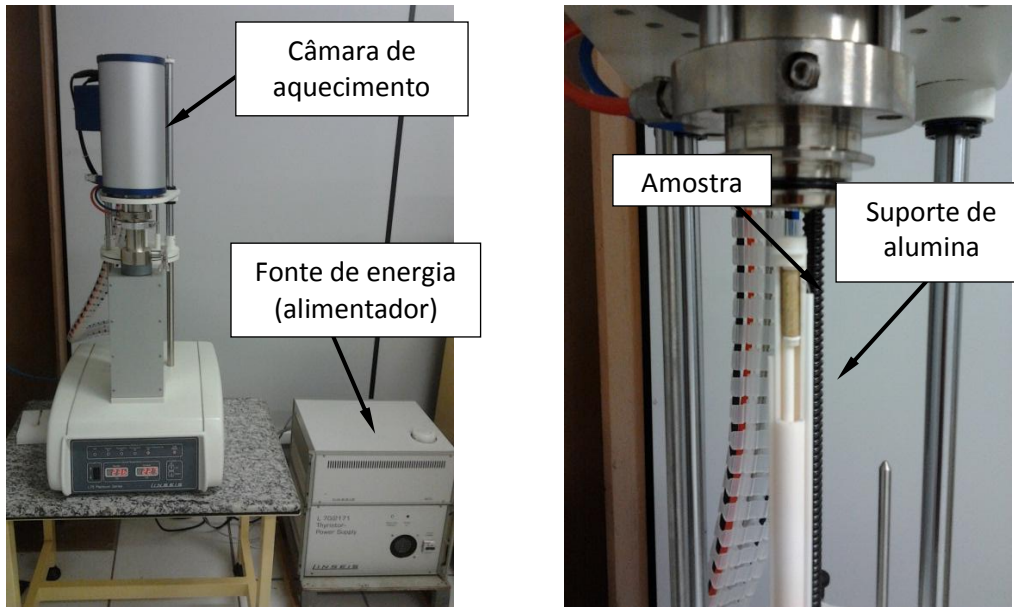


Figura 7: Imagem do equipamento dilatômetro utilizado no ensaio de dilatométrica. Fonte:Próprio autor.

4.2.6 Limite de Plasticidade e de Liquidez das massas

Uma massa cerâmica deve possuir condições próximas ao ideal para atender características de uma boa moldagem, secagem e queima objetivando um produto final de qualidade apropriada. Dessa forma, o ideal é que se tenha plasticidade e fusibilidade visando boa trabalhabilidade e resistência mecânica de queima. A seguir, imagem (Figura 8) do equipamento para a determinação do limite de liquidez e plasticidade da massa argilosa.



Figura 8: Equipamentos para a determinação do limite de liquidez e plasticidade da massa argilosa. Fonte: <http://www.geotecnia.ufba.br/imagens/equipamentos/Limite%20de%20Liquidez.jpg>

Visando o supracitado, a plasticidade e o limite de liquidez das massas cerâmicas foi obtida de acordo com as normas da ABNT NBR-7180 (ABNT, 1984a) e ABNT NBR-6459 (ABNT, 1984b). Foram necessários 150gramas de material (seco ao ar) passado na peneira #40 (0,42mm). O índice de plasticidade (IP) de Atterberg é dado por:

$$IP = LL - LP \quad (\text{equação 2})$$

IP (Índice de Plasticidade): representa a diferença entre o LL e o LP, indicando a faixa de consistência plástica.

LP (limite de plasticidade): é o teor de água, expresso em % do peso de pasta seca a 110°C, acima do qual a massa argilosa pode ser moldada em cilindros, com cerca de 3 a 4 mm de diâmetro e 15 cm de comprimento;

LL (limite de liquidez): é o teor de água, expresso em % do peso da pasta seca a 110°C, acima do qual a massa argilosa, ensaiada no aparelho de Casagrande, ao receber 25 golpes, consegue juntar os dois lados do sulco formado na massa.

Estes ensaios foram realizados no laboratório de engenharia civil (LECIV) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

4.2.7 Preparação dos corpos de prova

A argila e a cinza foram secas em estufa, desagregadas em moinhos de bolas e passadas em peneira ABNT 20mesh (0,841 mm). Posteriormente foram secas em estufa a 110°C até peso constante. Foram realizadas formulações com 0, 5, 10 e 20% de cinza na argila amarela. Essas misturas foram definidas baseadas em vários estudos da incorporação de resíduos em cerâmica vermelha. As massas foram homogeneizadas em moinho de bolas a seco por aproximadamente 30 min. Posteriormente a massa foi umidificada com 8% de água por aspersão. Dessa forma, a massa esteve pronta para confeccionar os corpos-de-prova, por prensagem uniaxial a 20 MPa, em matriz de aço no tamanho 115 x 26 x 12mm e em sete réplicas (Figura 9).

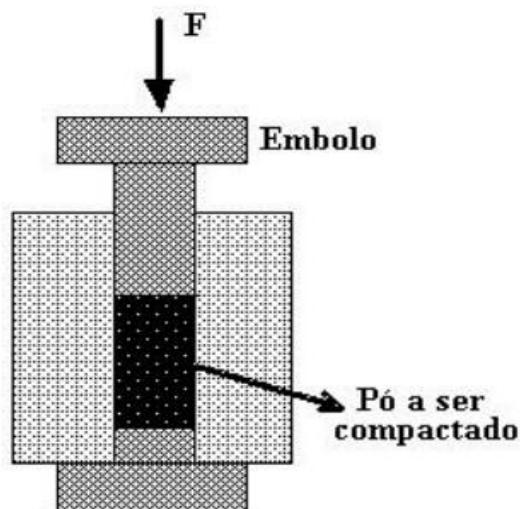


Figura 9: Desenho esquemático da compactação por prensagem uniaxial de simples ação do pistão. Fonte:Próprio autor.

Os corpos-de-prova foram secos em estufa a 110°C até peso constante. Para sinterização destes, foi utilizado forno elétrico tipo mufla em atmosfera oxidante (Figura 10) com uma rampa de aquecimento de 0,2°C/min até atingir as temperaturas desejadas (650, 750, 850, 950 e 1050°C). O forno possui um controlador PID, permitindo simular várias situações de aquecimento, inclusive

com a colocação de patamares em diversos pontos da curva de queima. Os corpos de prova foram dispostos enfileirados e horizontalmente.

Antes da sinterização foi determinada a densidade relativa a seco das peças. Isso ocorreu por meio da relação entre a densidade aparente a seco e a densidade real (ASTM, 1972), da argila e da cinza, determinada por picnometria.

Na sinterização, após 180min em temperatura patamar, o forno foi desligado para que as peças fossem resfriadas por convecção natural. Após resfriamento, foi determinada retração linear, absorção de água e os testes de resistência mecânica à flexão em três pontos.



Figura 10: Forno elétrico tipo mufla para queima dos corpos cerâmicos.
Fonte:Próprio autor.

4.2.8 Determinação das propriedades físicas e mecânicas

4.2.8.1 Densidade relativa a seco

Para determinar a densidade relativa a seco da cerâmica, pelo método dimensional, foi utilizada a norma ASTM C 373-72 (1997). Foram realizadas medições do comprimento dos corpos de prova com auxílio de um paquímetro digital marca MITUTOYO (resolução +/- 0,01mm) e as massas dos mesmos

foram determinadas através de uma balança digital Shimadzu modelo S3000 (precisão de 0,01g). Com um auxílio de um picnômetro, foi determinado a densidade real da argila e da cinza. O cálculo da densidade relativa a seco dos corpos cerâmicos foi realizado com auxílio da seguinte expressão:

$$\rho_{\text{relativa}} = \rho_{\text{ap}} / \rho_{\text{real}} \quad (\text{equação 3})$$

$$\rho_{\text{ap}} = \frac{M}{V}$$

ρ_{ap} : densidade aparente da peça seca ou queimada (g/cm³);

M: massa (g);

V: volume (cm³) dos corpos de prova, secos ou queimados, respectivamente.

4.2.8.2 Absorção de água

Para realização desse ensaio, a norma ASTM C373-72 (ASTM, 1977) foi seguida.

Para dar início, os corpos de prova foram pesados. Em um recipiente com água destilada fervente foram adicionados os corpos cerâmicos que foram mantidos por um período de 2 horas. Após esse tempo o fogo foi cessado e o material resfriado ainda submerso. Em seguida, foi removido o excesso de água na parte superficial das peças para o registro de massa.

O cálculo da absorção de água foi realizado com a seguinte fórmula:

$$AA(\%) = \frac{(P_u - P_s)}{P_s} 100 \quad (\text{equação 4})$$

P_u e P_s : representam as massas (g) das peças saturadas em água (úmidas) e secas, respectivamente.

4.2.8.3 Retração Linear pós Queima

Para prática desse ensaio, um paquímetro digital marca MITUTOYO (resolução $\pm 0,01$ mm) foi utilizado de acordo com a norma MB-305 (ABNT). Os diâmetros dos corpos de prova foram medidos antes da queima e após a mesma e em seguida o cálculo foi realizado através da seguinte expressão:

$$R_{L_s}(\%) = \frac{(L_c - L_s)}{L_c} 100; R_{L_q}(\%) = \frac{(L_s - L_q)}{L_s} 100 \quad (\text{equação 5})$$

L_c e L_s : representam o comprimento do corpo de prova após conformação e secagem e L_q após a queima.

4.2.8.4 Tensão de Ruptura à Flexão

Para se determinar as propriedades mecânicas das peças cerâmicas foram realizados ensaio de tensão de ruptura à flexão em três pontos (σ). Foi realizado com uma velocidade de carregamento de 0,5 mm/min e largura dos cutelos de 90mm.

O cálculo foi realizado com a seguinte expressão:

$$(\sigma) = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (\text{equação.6})$$

σ : tensão de ruptura à flexão, (MPa);

P: carga aplicada no corpo de prova no momento da ruptura, (Newton);

L: distância entre os cutelos de apoio, (mm);

b: largura do corpo de prova, (mm);

d: é a espessura do corpo de prova, (mm).

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- Caracterizações da Matéria-prima

5.1.1- Caracterização da Cinza

5.1.1.1 – Caracterização mineralógica

Difratograma de raio-x da cinza

A Figura 11 mostra o difratograma de raio-X da cinza. Nota-se uma composição mineralógica bem complexa, conforme indicada na imagem. Observa-se ainda nesta figura, qualitativamente, a formação de um halo difuso característico da sílica amorfa, compatível com a análise elementar que identificou a presença de 40,66% de SiO_2 (quartzo). As demais fases encontradas foram KMgPO_4 , KCl , CaCl_2 , CaCO_3 , K_2CO_3 , KAlSiO_4 e MgO . Como observado em estudos de algumas cinzas, essas fases são normalmente encontradas (SILVA,2013). Segundo Vita e colaboradores (2007), o carbonato de potássio (K_2CO_3) é um composto encontrado em cinzas vegetais. Já a presença de sílica na forma amorfa está diretamente ligada à temperatura e ao método de obtenção desse resíduo (DELLA *et. al.*, 2001) ou até mesmo pela possível contaminação do material por partículas de solo (ANGEL *et.al.*, 2009).

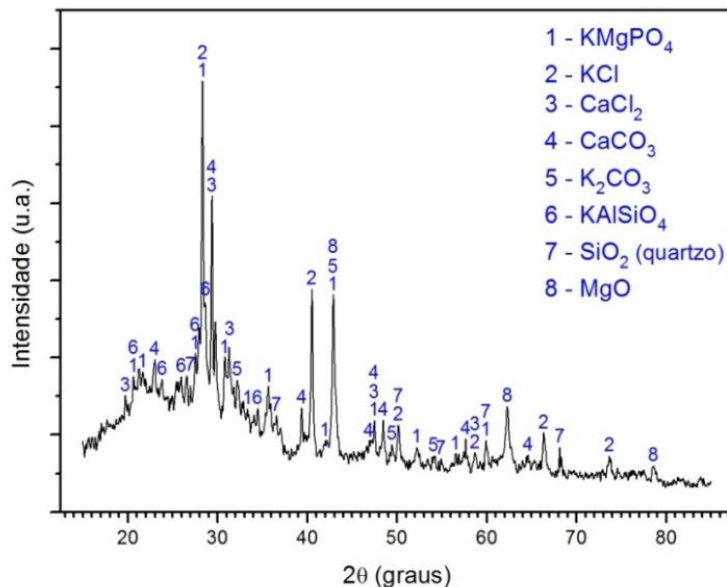


Figura 11: Difratoograma de raio-X da cinza de Capim-elefante. Fonte:Próprio autor.

Análise Termogravimétrica da Cinza

A Figura 12 apresenta as curvas TG/ATD da Cinza. Essa análise complementa a caracterização mineralógica por DRX do resíduo e permite conhecer o comportamento térmico do mesmo. A primeira etapa da curva deve-se à desidratação da amostra seguida de um pico exotérmico em aproximadamente 353°C. Este indica energia liberada devido à combustão de carvão vegetal, material orgânico e ainda, devido à decomposição térmica dos carboidratos e proteínas presente no material (SILVA,2013). Em torno de 570°C nota-se um pico endotérmico. Este pico pode ser atribuído à decomposição de componentes residuais orgânicos e também a transformação polimórfica do quartzo o que confirma a predominância de Sílica livre (Si_2O) no resíduo. Nota-se ainda, que nenhum outro evento térmico foi observado até a temperatura final de 1100°C.

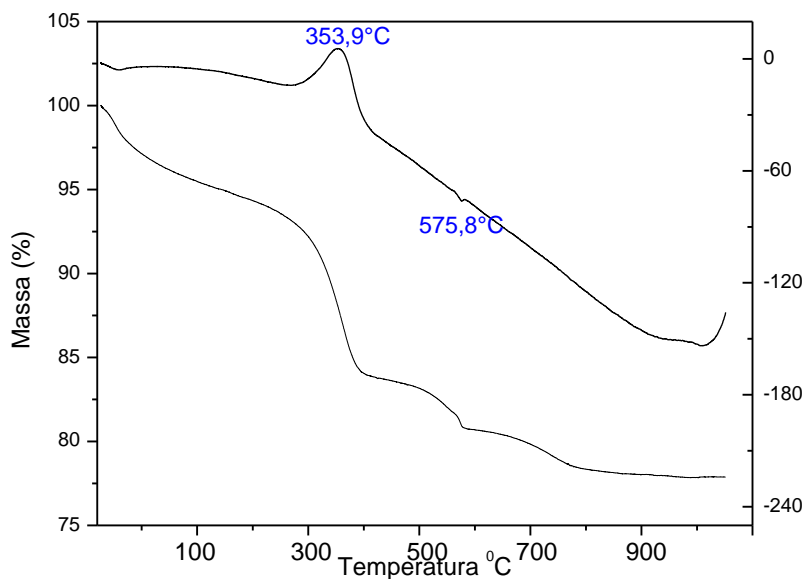


Figura 12: Curvas de TG/ATD da Cinza de Capim-elefante. Fonte:Próprio autor.

5.1.1.2 – Caracterização química

Fluorescência de raio-x da Cinza

A Tabela 2 apresenta a composição química da cinza de Capim-elefante. Pode-se observar que a cinza é constituída principalmente por Sílica SiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 e K_2O . A quantidade significativamente elevada de K_2O indica um potencial fundente da cinza. Observa-se uma perda ao fogo de 9,5%, típico de cinzas de outras biomassas (SOARES *et. al.* 2000; BORLINI *et. al.* 2005; PINATTI *et. al.* 2006; DE FARIA *et. al.* 2012).

Tabela 2: Composição química da cinza de Capim-elefante (peso %).
Fonte:Próprio autor.

Elemento	SiO_2	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	Na_2O	MgO	K_2O	P_2O_5	SO_3	Cl	SrO	MnO	ZnO	PF
	40,66	9,25	0,74	2,09	0,76	17,34	8,14	9,17	1,65	0,33	0,05	0,14	0,19	9,5

5.1.1.3 – Caracterização física

Distribuição do tamanho de partículas da Cinza

A Figura 13 apresenta um histograma da distribuição do tamanho de partícula do resíduo. A distribuição granulométrica do resíduo deteve-se a peneiras de 9 a 250# (mesh). Observou-se que o maior percentual de cinzas foi retido na peneira com malha 9 (2mm). Constatou-se também que cerca de 60% de todos os tamanhos de partículas de cinza apresentou-se de 2,2 a 0,7mm caracterizando as partículas desse material parcialmente grosseira. Para a fabricação de cerâmica, geralmente se utiliza material laminado abaixo de 2-3mm.

De acordo com a literatura (GENOVA, 1993) vitrificação e densificação do processo de sinterização de cerâmica são fortemente influenciadas pelo tamanho das partículas. O Capim tem apenas uma fração relativamente pequena de partículas apropriadas para a melhoria dos produtos cerâmicos. Dessa forma, as partículas grosseiras poderiam resultar em defeitos pontuais na cerâmica (SILVA, 2013). No entanto, esse material é de fácil manuseio o que torna possível o preparo e padronização dessas partículas para que se contorne essa desvantagem.

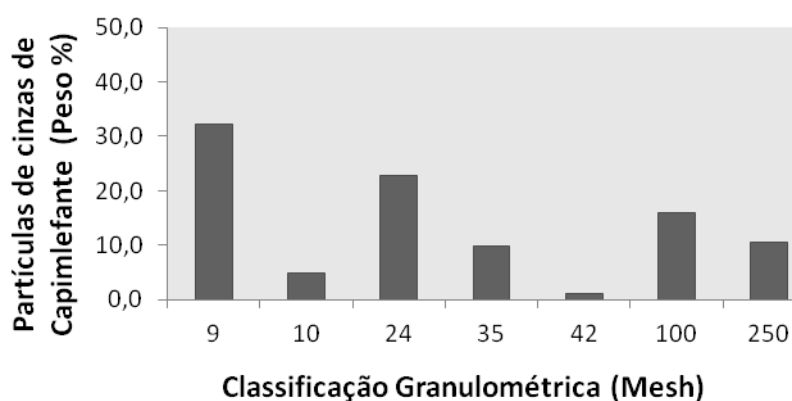


Figura 13: Distribuição granulométrica das partículas de cinza de Capim-elfante (9# (2mm), 10# (1,70mm), 24# (0,69mm), 35# (0,5mm), 42# (0,45mm), 100# (0,154 mm) e 250# (0,056mm)). Fonte:Próprio autor.

5.1.1.4 Caracterização morfológica

Microscopia Ótica (MO) da cinza de Capim-elefante

As micrografias a seguir (Figura 14) correspondem à cinza de capim-elefante investigadas na forma bruta. Nota-se uma variedade de tamanho de partículas como no trabalho de De Faria (2011) quando estudou a incorporação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em cerâmica vermelha. A imagem demonstra partículas totalmente incineradas e partículas do resíduo ainda sem ter entrado totalmente em combustão (indicadas pela seta) demonstrando ausência de homogeneidade do material. Essa técnica de microscopia limita a identificação das partículas.

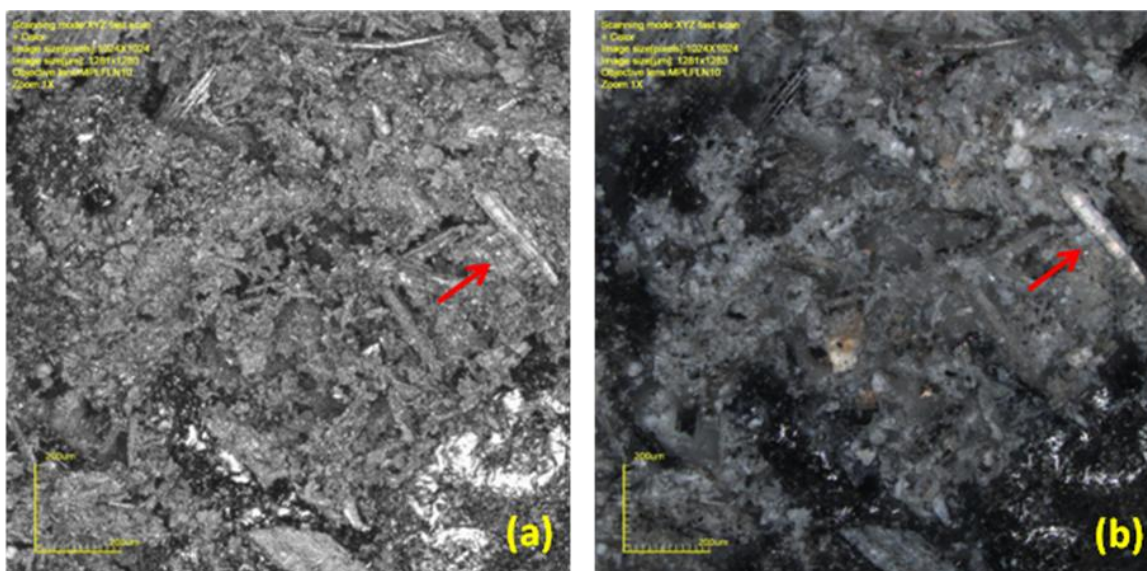


Figura 14: Imagem a laser (a) e colorida (b) em microscópio confocal sob aumento x216 das partículas de cinza de Capim-elefante.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da cinza de Capim-elefante

Para uma investigação mais apurada da morfologia desse material, foi realizada Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com identificação pontual por EDS. Pode-se observar na Figura 15 um aglomerado de partículas onde os maiores picos identificados foram de silício (Si) seguido de magnésio (Mg), sódio (Na) e carbono (C) que pode estar relacionado a matéria orgânica do material. Os picos de ouro (Au) dizem respeito à metalização do material para a

análise. Além dessa identificação, nota-se a heterogeneidade de tamanho e forma das partículas. Esses elementos encontrados por EDS demonstram uma matriz constituída por KMgPO_4 , CaCO_3 , K_2CO_3 , MgO e SiO_2 como foi visto na seção 5.1.1.1 no difratograma de raio-X da cinza. Nota-se também a presença de elementos como o Na presente na identificação por EDS que não foi registrada pela difração de raio-X, provavelmente deve-se ao fato do elemento estar associado a material amorfo.

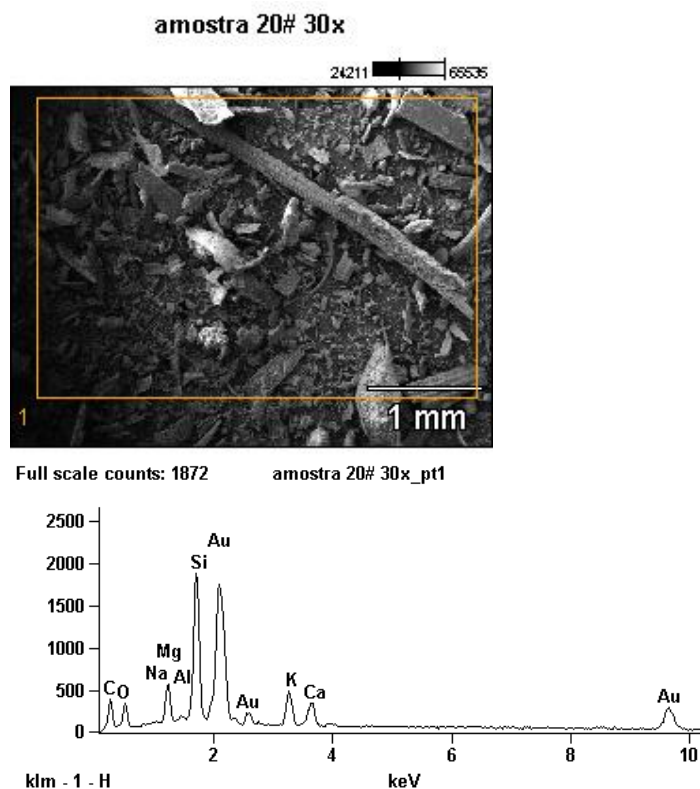


Figura 15: Micrografia de MEV da cinza de Capim-elefante com mapeamento por EDS. Fonte:Próprio autor.

Na Figura 16 pode ser observada a presença de partículas mais porosas. O mesmo padrão de partículas pode ser observado no trabalho de Faria (2011), onde também estudou a incorporação de cinzas em cerâmica vermelha. A partícula 1 apresentou um alto pico de silício seguido de alguns picos menores de magnésio e potássio enquanto que a partícula 2 apresentou picos de alumínio, silício, cálcio e potássio.

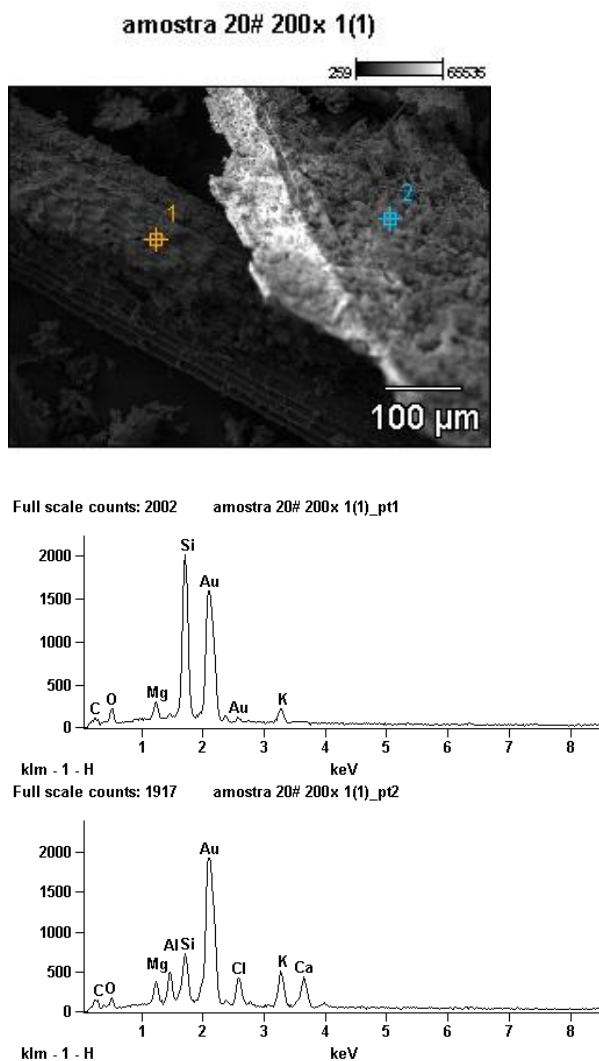


Figura 16: Micrografia de MEV da cinza de Capim-elefante com EDS pontual.
Fonte:Próprio autor.

A Figura 17 apresenta a imagem de uma partícula com identificação pontual por EDS em dois pontos. Na região 1, verificou-se uma predominância de silício e potássio enquanto que na região 2 identificou-se partículas aderidas com picos mais acentuados de silício, potássio e magnésio.

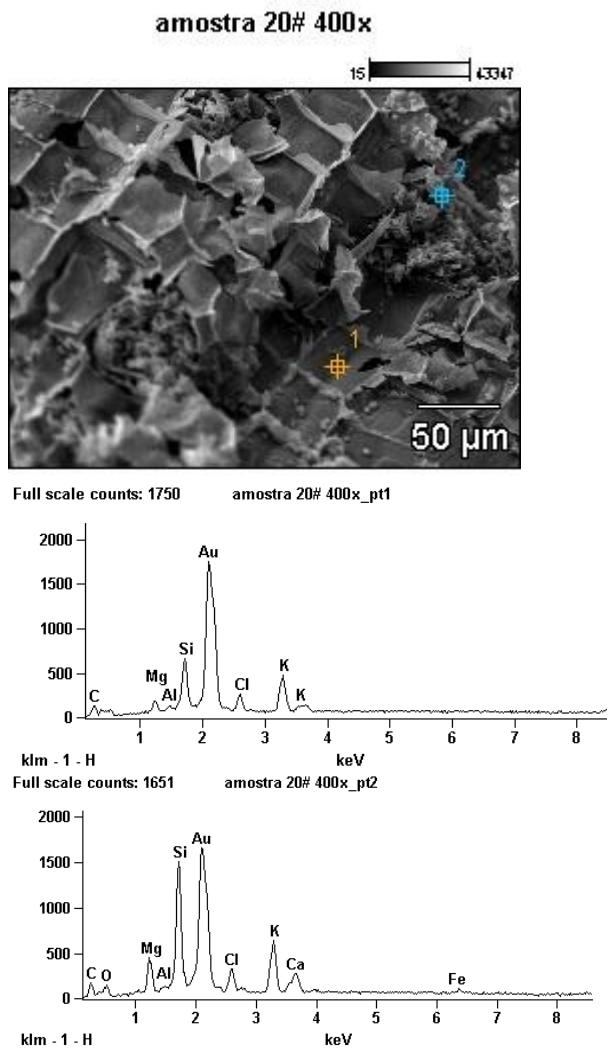


Figura 17: Micrografia de MEV da cinza de Capim-elefante com EDS pontual.
 Fonte:Próprio autor.

Na Figura 18 pode-se observar morfologia diferente da Figura 17, no entanto o mesmo padrão de composição mineralógica se repete demonstrado alta semelhança entre as partículas.

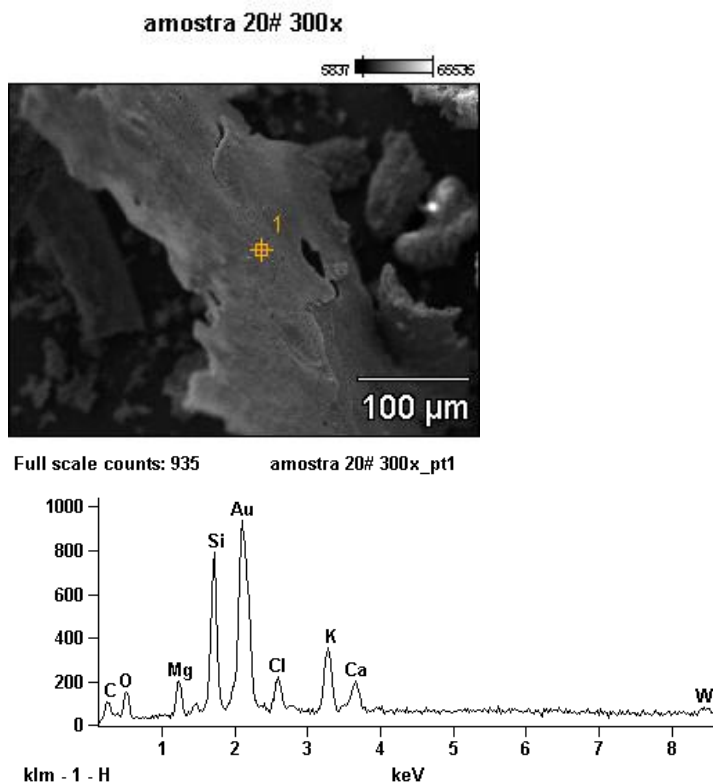


Figura 18: Micrografia de MEV da cinza de Capim-elefante com EDS pontual.
Fonte:Próprio autor.

5.1.2 – Caracterização da Argila

5.1.2.1 – Caracterização mineralógica

Difratograma de raio-x da argila

Observa-se na Figura 19 o difratograma de raio-x da argila amarela de Campos dos Goytacazes – RJ. Os picos predominantes no difratograma são correspondentes à Muscovita ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$) e a Caulinita ($2SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$). Os demais picos são correspondentes ao quartzo (SiO_2), gibsitita ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$), goetita ($FeO(OH)$) e montmorilonita ($Al_{1,67} \cdot Na_{0,33} \cdot Mg_{0,33}$). Segundo Vieira e colaboradores (2008), a Mica Muscovita é um material de textura lamelar que pode ocasionar o aparecimento de defeitos na cerâmica. Desde que apresente tamanho de partícula reduzido, a mica muscovita pode atuar como fundente devido a sua composição rica em óxidos alcalinos. As argilas de Campos dos Goytacazes além de serem caracterizadas por seu comportamento refratário, possuem a Caulinita como o

mineral predominante. A caulinita é o contribuinte para o desenvolvimento da plasticidade, já o quartzo é a principal impureza nas argilas e atua como matéria-prima não plástica e inerte durante a sinterização das peças cerâmicas, enquanto a gibsita contribui para o aumento de refratariedade das argilas e da perda de massa durante a queima. A montmorilonita é um argilomineral altamente plástico e que apresenta uma grande tendência de re-hidratação, o que pode acarretar problemas no processamento (VIEIRA e MONTEIRO, 2004).

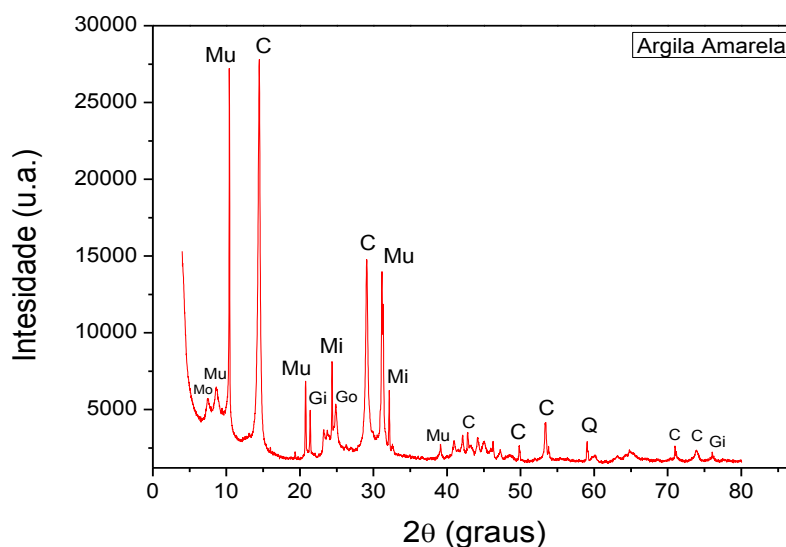


Figura 19: Difratograma de raios-X da argila. **C** = Caulinita; **Gi** = Gibsita; **Go** = Goetita, **Mi** = Microclina, **Mu** = Muscovita, **Mo** = Montmorilonita **Q** = Quartzo. Fonte:Próprio autor.

Análise termogravimétrica da argila

A Figura 20 apresenta as curvas de ATD/TG/DTG da argila. Pode-se observar que por volta de 150°C houve, inicialmente, uma perda de massa de 3% seguida de mais uma perda de 3,3% por volta dos 300°C e uma final de 8,9%. Durante todo o processo totalizou-se uma perda de massa de 15,2%. Houve dois picos endotérmicos. Um a 266,3°C devido à eliminação de água de umidade e outro a 489,3°C que possivelmente está associado à desidroxilação da caulinita. E a 954,4°C ocorre um pico exotérmico, que se deve segundo Santos (1989) à decomposição da metacaulinita e a conseqüente formação de novas fases. Segundo Silva, 2013 a elevada perda de massa é típica das argilas

de Campos dos Goytacazes-RJ e constitui um dos principais fatores que conferem a cerâmica após queima, elevada porosidade.

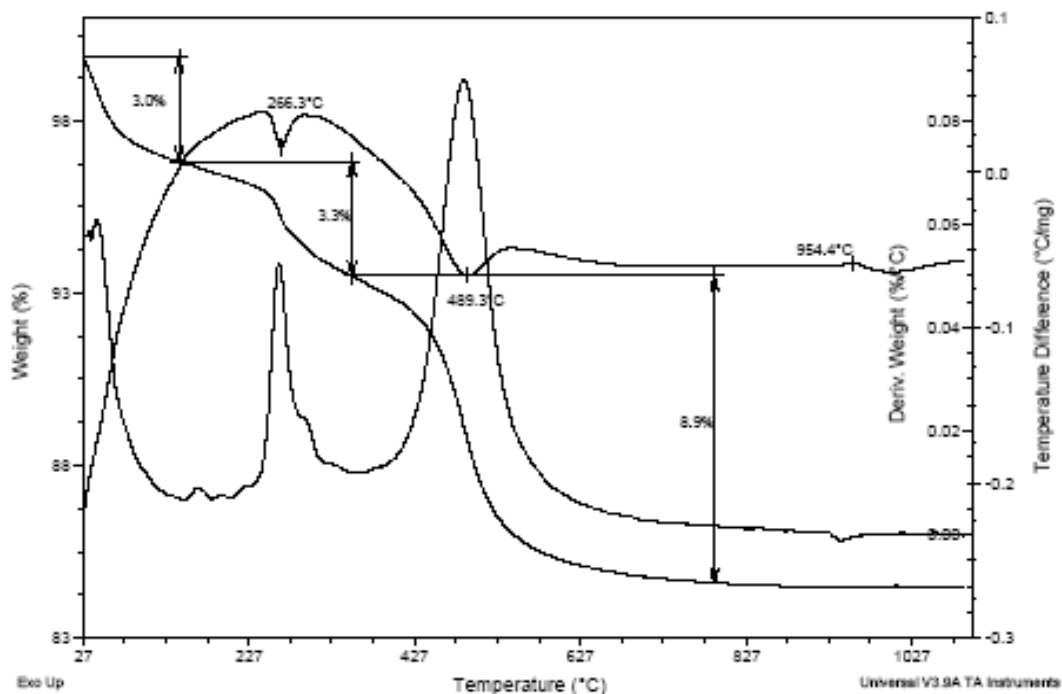


Figura 20: Curvas de ATD/TG/DTG da argila amarela de Campos dos Goytacazes – RJ. Fonte:Próprio autor.

5.1.2.2 – Caracterização química

Fluorescência de Raios-X da argila

É possível observar na Tabela 3 que a argila é predominantemente constituída de SiO_2 e Al_2O_3 , os quais estão em sua maior parte combinados formando os aluminossilicatos como a mica muscovita/ilita e a caulinita, por exemplo. O elevado teor de óxido de ferro confere uma coloração avermelhada ao produto após a queima. Nota-se também baixo percentual de óxidos alcalinos, característica típica de argilas cauliníticas. A perda ao fogo geralmente ocorre devido à oxidação de matéria orgânica, perda de água de constituição de argilominerais, decomposição de carbonatos e desidratação de hidróxidos. E a elevada perda ao fogo (PF), como ocorreu na argila estudada

(15,2%) ocorre principalmente devido à perda de água de constituição da caulinita.

Tabela 3: Composição química da argila (peso %). Fonte:Próprio autor.

Elemento	SiO₂	CaO	Fe₂O₃	TiO₂	Al₂O₃	MgO	K₂O	P₂O₅	MnO	PF
Peso(%)	43,59	0,15	10,38	1,55	25,64	0,66	1,63	0,25	0,11	15,2

5.1.2.3 – Caracterização física

Distribuição do tamanho de partículas da argila

Pode ser observado na Figura 21 a curva de distribuição de tamanho de partículas da argila após destorroamento e peneiramento em malha de 14mesh (abertura de 1,2 mm). A fração correspondente a argila, partículas inferiores a 2 μ m, foi de 53,8% em massa e a correspondente aos teores de silte, partículas de 2 a 20 μ m, foi de 34,3% e da areia, partículas maiores que 20 μ m, foi igual a 11,9%. O percentual correspondente a “fração argila” está intimamente relacionado à maior plasticidade da massa cerâmica em mistura com água, possibilitando uma maior consistência plástica que possibilita conformar as peças por extrusão. Segundo Santos (1989) e Abajo (2000), a relação de maior plasticidade quanto maior o percentual da “fração argila” se dá porque os argilominerais se associam aos intervalos de tamanho de partículas.

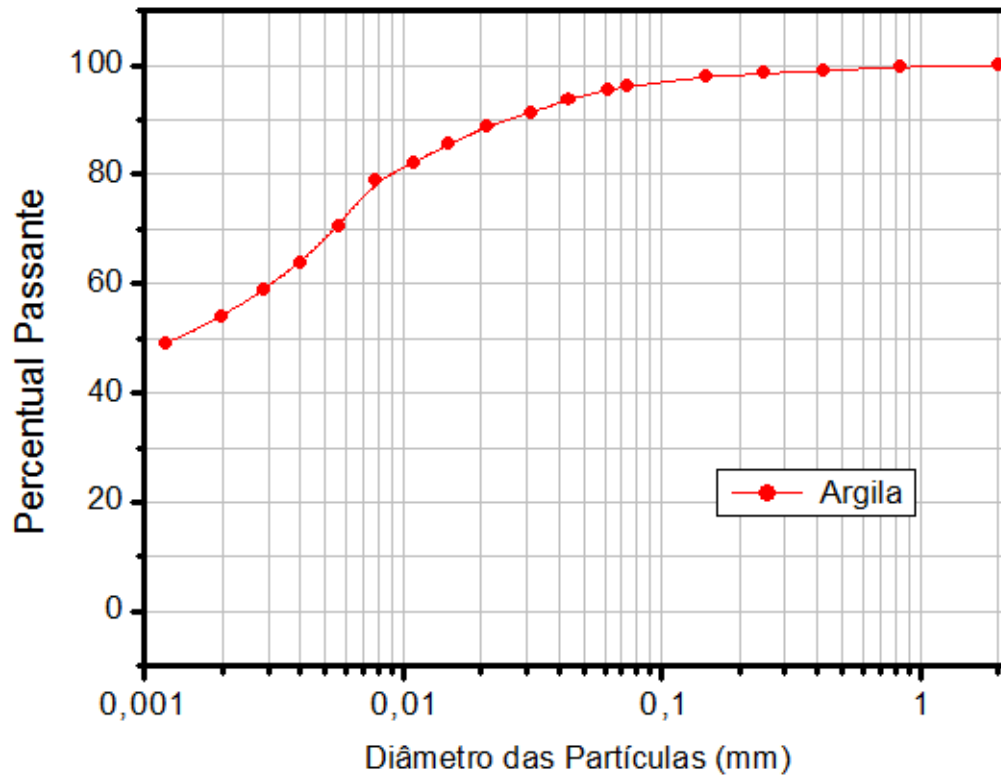


Figura 21: Curva de distribuição de tamanho das partículas da argila.
Fonte:Próprio autor.

5.2 Propriedades físicas e mecânicas

5.2.1 Plasticidade

Observa-se na Figura 22 um gráfico do prognóstico de extrusão das peças cerâmicas em função do teor de cinza por meio dos limites de Atterberg.

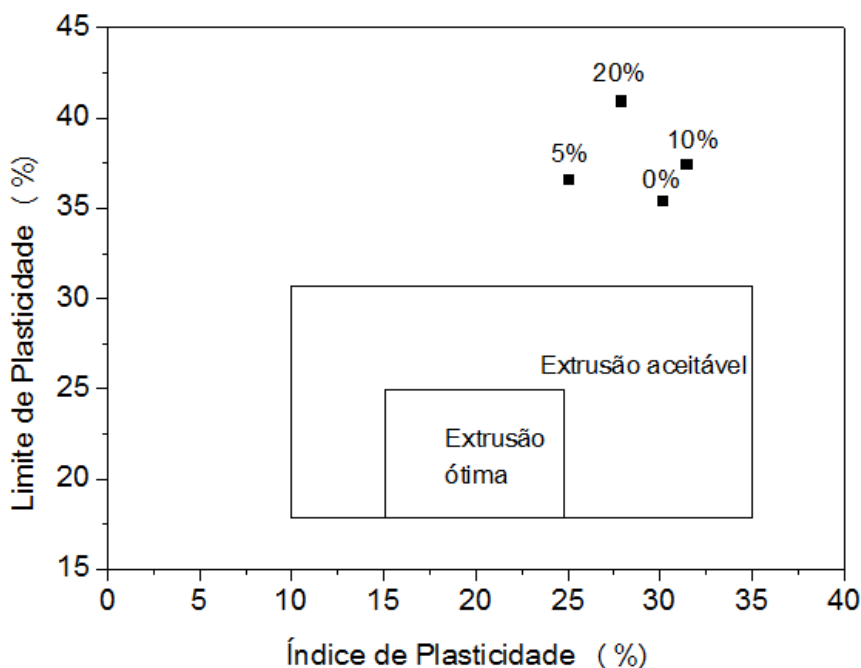


Figura 22: Prognóstico de extrusão por meio dos limites de Atterberg.
Fonte:Próprio autor.

O limite de plasticidade representa a quantidade de água mínima necessária para que a argila ou a mistura de argilas alcance a consistência necessária para que seja conformada no estado plástico. Dessa forma, o LP é um parâmetro de grande interesse tecnológico. A água adicionada à massa cerâmica atua no preenchimento dos poros (água intersticial) e também pode estar localizada entre as partículas facilitando a conformação das peças (água lubrificante). Sua eliminação na etapa de secagem é responsável pela retração da peça.

Os números na Figura 22 representam os percentuais de resíduos incorporados nas massas cerâmicas. O índice de plasticidade considerado mínimo é de 10% (ABAJO, 2000), no entanto, observa-se que em todas as composições, amostras de argila apresentam índice de plasticidade (IP) superior a 10%. Nota-se que a argila pura (0%) localiza-se fora da região de extrusão aceitável, ou seja, a argila do presente estudo possui elevada plasticidade. A argila com adição de 5, 10 e 20% de resíduo aumentou o LP e diminuiu o IP conferindo à massa maior plasticidade o que não é o desejável devido à argila já possuir elevada IP e além de ser necessário adicionar uma

maior quantidade de água na etapa de conformação por extrusão e aumento na retração de secagem. Uma possível explicação para que a incorporação das cinzas tenha aumentado a plasticidade da argila é a capacidade de troca iônica, fato que deverá ser melhor investigado.

No entanto, a alta plasticidade pode ser contornada pelo acréscimo na massa argilosa de materiais não plásticos, como o quartzo que pode ser adicionado na forma de areia. Isto se deve ao fato de que o quartzo não desenvolve misturas plásticas, mesmo com tamanho de partícula muito pequeno, menor que 0,002 mm.

5.2.2 Dilatometria

A Figura 23 demonstra os corpos-de-prova antes e após o ensaio de dilatometria.

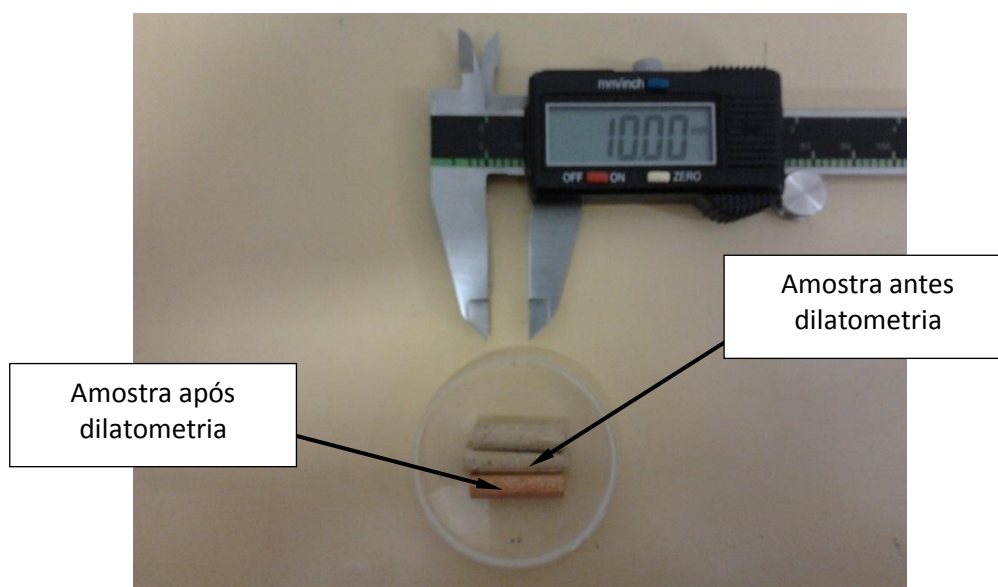


Figura 23: Aspecto da amostra antes e após o ensaio de dilatometria.

Fonte:Próprio autor.

A Figura 24 apresenta a evolução da dilatação da massa argilosa pura (0%) e das misturas com 10 e 20% de resíduo. A massa com 10% de resíduo foi a que menos se expandiu em temperaturas mais elevadas, acima de 500°C. Em contra partida, a massa com incorporação de 20% de resíduo foi a que

menos retraiu entre as temperaturas aproximadas de 500 a 800°C e acima disso a retração aumentou corroborando com os testes de retração linear. Isso pode ser devido a maior concentração do resíduo. A expansão térmica de materiais é consequência da expansão de cada uma das fases presentes, da proporção entre elas e da microestrutura (porosidade, microtrincas, anisotropia, entre outros) (MARINO, 1997).

As curvas dilatométricas da argila pura e das misturas, de um modo geral, apresentaram comportamentos dilatométricos semelhantes. Através das curvas, observa-se claramente o comportamento típico de material caulinítico, argilas típicas de Campos dos Goytacazes – RJ. Uma massa argilosa caulinítica apresenta uma leve dilatação até por volta de 550°C, seguido de duas retrações com a última mais acentuada. O que ocorreu neste estudo. O primeiro momento de dilatação da massa deve-se a expansão térmica que os materiais sofrem quando aquecidos e a aproximadamente 600°C acontece outro processo de dilatação que pode estar associada à transformação alotrópica do quartzo que ocorre a 573°C. Entretanto, entre 800 e 900°C ocorre um evento de retração brusca que é atribuída ao início da sinterização por formação de fase líquida que acontece por volta de 880°C (SILVA,2013).

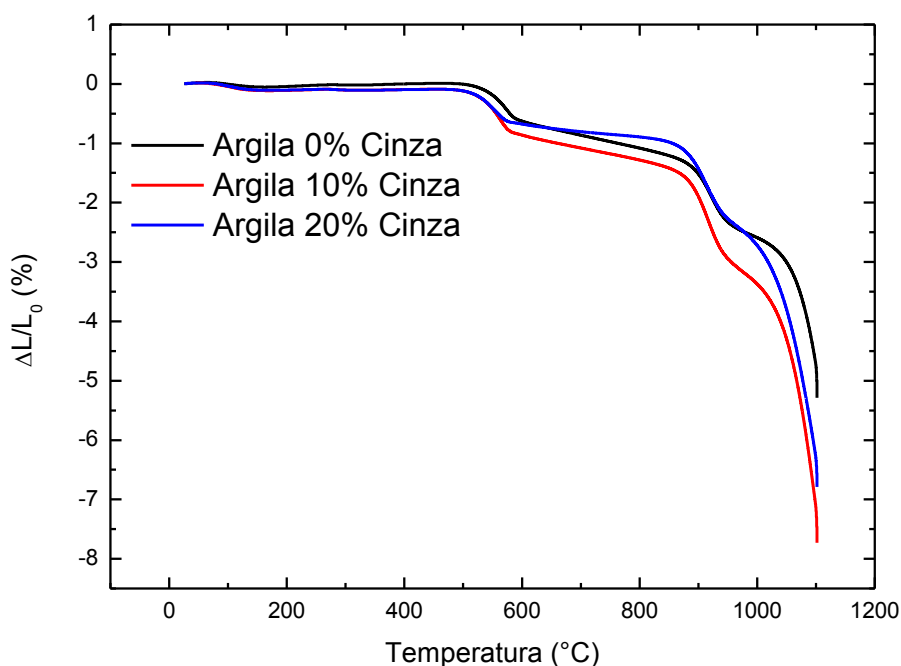


Figura 24: Dilatometria das amostras. Fonte:Próprio autor.

5.2.3 Densidade relativa a seco

A Figura 25 apresenta a densidade relativa a seco das composições estudadas. Como as matérias-primas possuem densidades reais diferentes (cinza: 2,41 e argila: 2,68), somente por meio da densidade relativa é possível verificar o efeito do resíduo no empacotamento da argila. Observa-se que a incorporação de cinza acarretou um aumento no grau de empacotamento a seco da argila. Isto deve ter ocorrido, sobretudo, devido à granulometria mais grosseira da cinza. Este resultado é benéfico já que aumenta a área de contato entre as partículas favorecendo a sinterização.

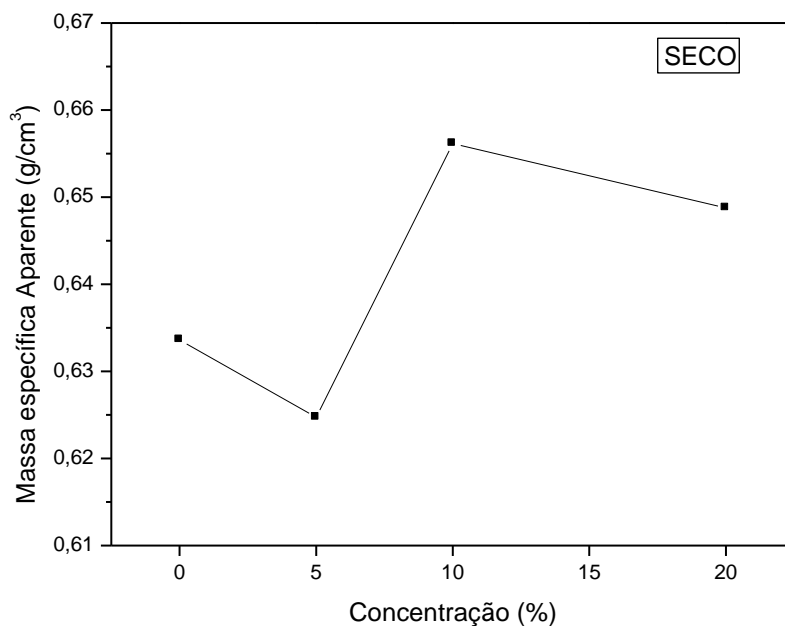


Figura 25: Densidade relativa a seco das composições. Fonte:Próprio autor.

5.2.4 Absorção de água

Pode-se observar na Figura 26 o padrão de Absorção de Água (AA) da cerâmica sinterizada. Verifica-se que na temperatura de 650°C, a incorporação de cinza acarreta aumento da absorção de água da cerâmica argilosa pura. Os maiores valores de absorção de água são das cerâmicas com 20% de resíduos sinterizadas a 650°C. Já nas temperaturas intermediárias de 750, 850 e 950°C,

os valores da absorção de água para todas as composições investigadas são muito similares. Na temperatura de 1050°C também não há diferenças significativas da absorção de água entre as composições. Entretanto, quando comparado às temperaturas anteriores, ocorre uma queda brusca, atribuída à formação de fase líquida. Na Figura 26 há uma linha tracejada no patamar de absorção de água 20%, referente ao valor máximo admitido para telhas, conforme norma técnica da ABNT (2009). Nota-se que as composições só alcançam este patamar em temperatura ao redor de 1000°C. Este resultado indica um comportamento refratário das composições, típico de argilas caulínicas. Além disso, embora a cinza tenha um elevado teor de óxido fundente, K_2O , por meio da porosidade aberta pode-se aferir que não ocorreu alteração significativa na formação de fase líquida devido à cinza.

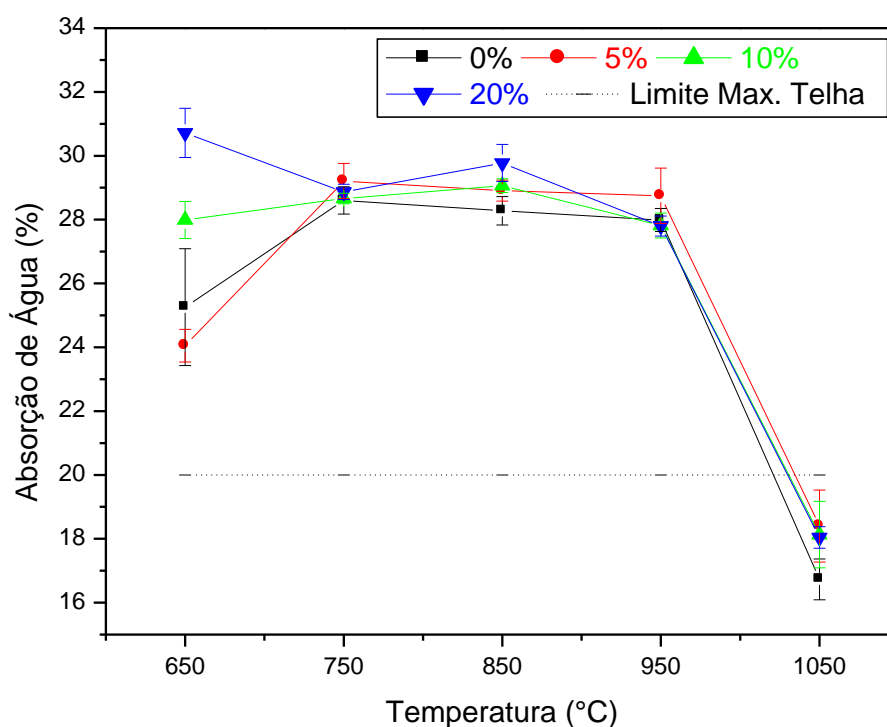


Figura 26: Absorção de Água dos corpos de prova de formulações 0%, 5%, 10% e 20% em função das temperaturas de queima: 650°C, 750°C, 850°C, 950°C e 1050°C. Fonte:Próprio autor.

5.2.5 – Retração Linear de Queima

A Figura 27 apresenta a retração linear de queima (RLQ) das cerâmicas sinterizadas. Observa-se que em todas as temperaturas (650, 750, 850, 950 e 1050°C) os valores de retração linear para as quatro composições (0, 5, 10 e 20%) são similares, indicando pouca variação em função da incorporação de cinza à argila. A composição com 20% sinterizadas nas cinco temperaturas foi a que teve a retração um pouco mais acentuada que as demais. Já com relação ao efeito da temperatura de queima, nota-se que entre as temperaturas de 650°C a 850°C houve pouca variação nos valores de retração em todas as composições. Entretanto, nas temperaturas mais altas de 950 e 1050°C ocorreu um aumento bastante significativo da retração linear em todas as composições. Este comportamento também está associado à formação de fase líquida que promove a aproximação das partículas com conseqüente retração da peça.

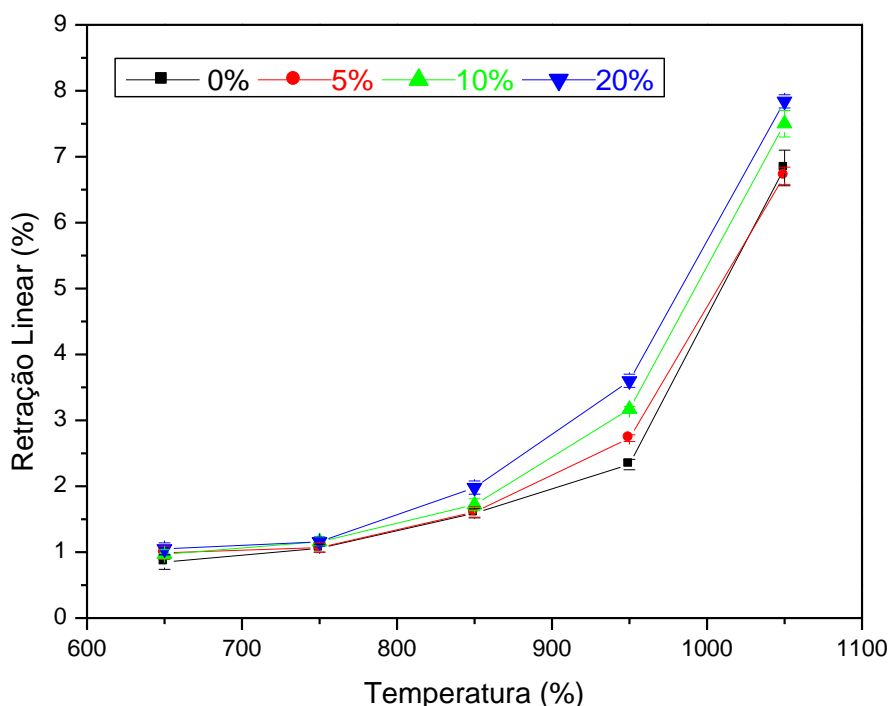


Figura 27: Retração linear dos corpos de prova de formulações 0%, 5%, 10% e 20% queimados nas temperaturas de 650°C, 750°C, 850°C, 950°C e 1050°C.

Fonte:Próprio autor.

5.2.6 Tensão de ruptura à flexão

A Figura 28 apresenta a tensão de ruptura à flexão das composições em função da temperatura de queima. Verifica-se que na temperatura de 650°C praticamente não há diferenças entre os valores da resistência mecânica das composições. Já a 850°C, as composições com cinza (5, 10 e 20%) apresentaram um incremento da tensão de ruptura à flexão, enquanto a composição com argila pura (0%) apresentou uma pequena redução desta propriedade. Na temperatura de 1050°C nota-se um brusco aumento da resistência mecânica em todas as composições. Conforme já dito anteriormente, nesta temperatura há elevada formação de fase líquida, o que também contribuiu para a melhora da resistência mecânica das cerâmicas. Embora a composição com 10% de cinza tenha apresentado o valor de tensão de ruptura à flexão mais elevado, a diferença de valores entre as composições é pequena, nesta Figura 28 há uma linha tracejada no patamar de tensão de ruptura à flexão de 6,5 MPa, referente ao valor indicado para telhas (Santos, 1989). Nota-se que somente a composição com 10% de cinza alcançou este patamar e ainda na temperatura de 1050°C.

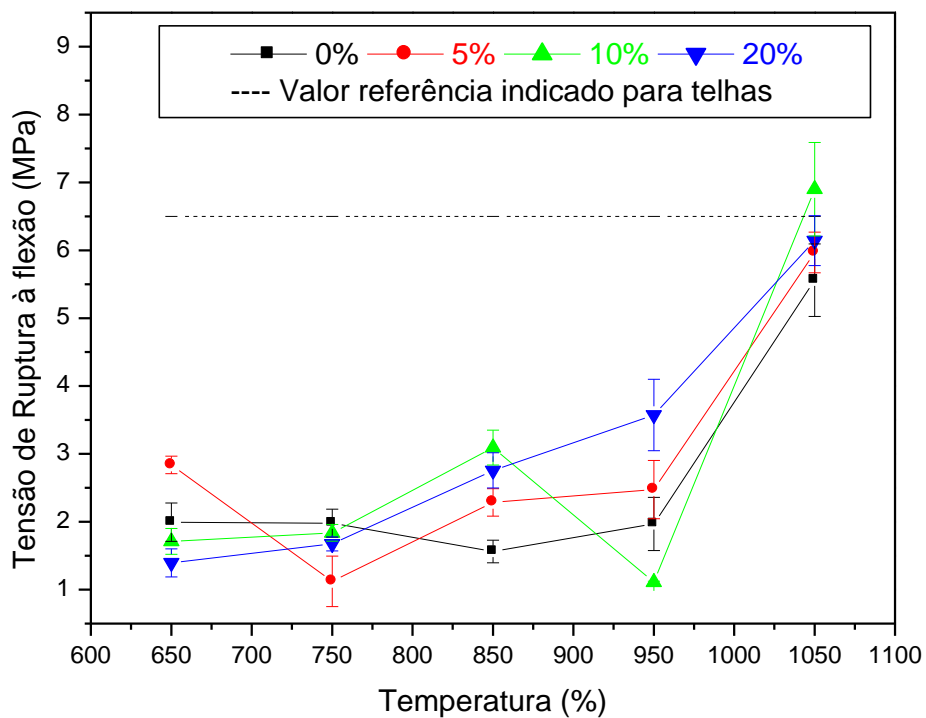


Figura 28: Tensão de ruptura à flexão das composições em função da temperatura de queima. Fonte:Próprio autor.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

O presente estudo com a finalidade de investigar a influência da incorporação do resíduo de cinzas de capim-elefante nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha sinterizadas a 650, 750, 850, 950 e a 1050°C permitiu obter as seguintes conclusões:

- A cinza de capim-elefante investigada é constituída predominantemente por SiO_2 , MgO , K_2O e CaO , os quais estão associados a carbonatos, fosfatos e ao quartzo. O teor de K_2O é típico de material fundente. Entretanto, do ponto de vista mineralógico, a cinza é constituída predominantemente por quartzo (SiO_2) e demais fases: KMgPO_4 , KCl , CaCl_2 , CaCO_3 , K_2CO_3 , KAlSiO_4 e MgO .
- Constatou-se também que cerca de 60% de todos os tamanhos de partículas da cinza apresentou-se de 2,2 a 0,7mm caracterizando as partículas desse material como parcialmente grosseira. Para a fabricação de cerâmica vermelha, geralmente se utiliza material laminado abaixo de 2-3mm. No entanto, esse material é de fácil manuseio o que torna possível o preparo e padronização dessas partículas para que se contorne essa desvantagem.
- Numa argila caulinítica a variação da temperatura de queima de 650 para 850°C exerceu pouca influência nas propriedades físicas e mecânicas avaliadas das cerâmicas, independente da presença ou não da cinza de capim-elefante. Já na temperatura de 1050°C (maior temperatura de queima estudada), devido à maior formação de fase líquida, a retração linear e a tensão de ruptura à flexão aumentaram abruptamente, enquanto a absorção de água foi reduzida.
- As diferentes concentrações de cinza estudadas na incorporação não influenciaram de forma significativa as propriedades físico-mecânicas da cerâmica. No entanto, concentrações próximas a 10% seriam mais

indicadas devido a uma maior concordância dos dados de retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão.

- Análise mineralógica nas amostras sinterizadas indicou que a incorporação da cinza na massa argilosa pura não modificou as fases cristalinas majoritárias, mas introduziu novas fases como K_2CO_3 e $KAlSiO_4$. Além disso, a adição da cinza tende a modificar as intensidades dos picos de difração.
- A adição de cinza aumentou a plasticidade da argila que já era alta, caracterizando-se assim como resíduo plastificante. No entanto esse fato pode ser contornado pela adição na massa argilosa de materiais não plásticos como o quartzo.
- Embora a cinza de biomassa, neste caso, de capim-elefante seja um resíduo, o baixo custo das argilas e o elevado custo de frete no Brasil, sinalizam para a necessidade de realização de um estudo de viabilidade econômica. Em Campos dos Goytacazes, por exemplo, o custo das argilas é de aproximadamente R\$ 10,00 / ton. Considerando o custo de frete médio de R\$ 0,12 / ton para cada km rodado (<http://www.transvias.com.br/informese/view.asp?id=3165>), para que o preço da cinza não seja superior ao preço da argila, o transporte deve ser feito até uma distância máxima de 83,3 km.

CAPÍTULO 7 - SUGESTÕES

- Reduzir a granulometria da cinza para que o potencial fundente para a cerâmica vermelha seja confirmado. Outra alternativa, consiste na investigação de cinzas de capim-elefante de outros processos de combustão.
- Processamento em escala industrial de peças de cerâmica vermelha contendo a cinza de Capim-elefante.
- Utilizar maiores quantidades de resíduos, pois os resultados mais significativos foram encontrados nas composições maiores que 10% de cinza de capim-elefante incorporada à cerâmica vermelha.

CAPÍTULO 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAJO, M.F. (2000). Manual sobre la Fabricación de Baldosas, Tejas y Ladrillos, Ed. Beralmar S. A., Terrassa. 360p.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). Resíduos Sólidos: Classificação. NBR 10.004, 2ª Ed.

ABNT – Associação Brasileiro de Normas Técnicas. Componentes cerâmicos – Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. ABNT NBR 15310:2009.

ANGEL, J. D. M.; VÁSQUEZ, T. G. P. (2009). Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. Quim. Nova, Vol. 32, No. 5, 1110-1114.

ALMEIDA, S. C. A., CLUA, E. W. G. (2006). Perspectiva do uso da biomassa para a geração descentralizada de energia no Mercosul. Trabalho submetido ao Prêmio Mercosul de Ciência e tecnologia.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. (2002). Manuais – Bloco. Rio de Janeiro, 2002.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Capim Elefante. http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional_direita.asp&secao=10&id=86&revista=2WA004509087EWRTXLZ873BDG28%3E. Acessado em: 20 de Janeiro de 2012.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Dados Oficiais. <http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional.asp&secao=3&categoria=60&selMenu=3>. Acessado em: 20 de janeiro de 2012.

ANICER. (2012). Capim Elefante: Uma alternativa de queima para quem pensa no futuro. Revista da Anicer. Disponível em: http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional_direita.asp&secao=10&id=86&revista=2WA004509087EWRTXLZ873BDG28>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1989). Solubilização de Resíduos Sólidos-Procedimentos, NBR 10006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2004). Classificação dos resíduos sólidos, NBR 10004.

ASTM -American Society for Testing and Materials.(1977). Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials, C 674-77.

ASTM -American Society for Testing and Materials.Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, C 373-72. 1972.

BARRY, C. C.; GRANT N. M. (2007).Ceramic Materials/Science and Engineering.Ed. Springer-Verlag. Nova Iorque. 716p.

BORLINI, M. C.; SALES, H. F.; VIEIRA, C. M.F.; CONTE, R. A.; PINATTI, D, G.; MONTEIRO, S. N. (2005). Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha. Parte I: características da cinza. Cerâmica 51, 192-196.

BORLINI, M. C.; MENDONÇA, J. L. C. C.; VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. (2006). Influência da Temperatura de Sinterização nas Propriedades Físicas, Mecânicas e Microestruturais de Cerâmica Vermelha Incorporada com Cinza de Bagaço de Cana de Açúcar. Revista Matéria, v. 11, n. 4, pp. 435 – 443.

BORLINI, M. C.; VIEIRA, C. M. F.; PINATTI, D.G.; CONTE, R.A.; MONTEIRO, S.N. (2006). Análise microestrutural de cerâmica vermelha incorporada com

cinza de lenha de eucalipto”, CD-ROM dos Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica – Cerâmica Vermelha, Blumenau, SC, Brasil.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. (2005). Introdução à Engenharia Ambiental, 2. Edição, Prentice Hall, São Paulo. 336 p.

BRISTOTI, A. & SILVA, J. L. DOS S. (1993). Diagnóstico da utilização e da oferta da biomassa vegetal no Rio Grande do Sul. Núcleo de Energia, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.

CALLISTER, W. D. J. (2008). Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 7ª Ed., Rio de Janeiro, LTC. 175p.

CARVALHO JR., J. A.; LACAVAL, P. T. (2003). Emissões em processos de combustão. São Paulo: editora UNESP.

COELHO, A. C. V.; SANTOS, P. S. (2007). Argilas Especiais: o que são, caracterização e propriedades. Quim. Nova, Vol. 30, No. 1, 146-152.

COELHO, S. T. (1999). Mecanismo para implementação da co-geração de eletricidade a partir de Biomassa, um modelo para o estado de São Paulo. (Tese de Doutorado). Programa V inter-unidades de Pós-graduação em energia, universidade de São Paulo, São Paulo.

DE FARIA, K.C.P.; GURGEL, R.F.; DE HOLANDA, J.N.F. (2012). Influência da adição de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha. Revista Matéria, v. 17, n. 3, pp.1055 – 1061.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. (2001). CARACTERIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ PARA USO COMO MATÉRIA-PRIMA NA

FABRICAÇÃO DE REFROTÁRIOS DE SÍLICA. *Quim. Nova*, Vol. 24, No. 6, 778-782.

DONDI, M., MARSIGLI, M., FABBRI, B. (1997a). Recycling of Industrial and Urban waste in Brick Production- A Review: *Tile & Brick Int.* Vol.13, nº 3, 218-225p.

DONDI, M., MARSIGLI, M., FABBRI, B. (1997b). Recycling of Industrial and Urban waste in Brick Production- A Review (Part 2): *Tile & Brick Int.* Vol.13, nº 4, 302 – 308p.

DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. (1997). “Recycling of industrial and urban wastes in brick production – A Review”, *Tile & Brick Int.*, 13 - 218-225.

DONDI, M.; ERCOLANI, G.; GUARINI, G.; RAIMONDO, M. (2002). “Orimulsion fly ash in clay bricks-part 1: composition and thermal behaviour of ash”, *Journal of the European Ceramic Society*, 22. 1729-1735.

DONDI, M., GUARINI, G., RAIMONDO, M., et al. (2002). “Orimulsion Fly ash in Clay Bricks—Part 3: Chemical Stability of ash-bearing Products”, *Journal of the European Ceramic Society*, v. 22, pp. 1749-1758.

FARIA, K. C. P. (2011). Avaliação da adição de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades e microestruturas de cerâmica vermelha. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 97p.

GENOVA; L. A. (1993). Efeito de aditivos nas características microestruturais e ópticas da alumina. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e nucleares. São Paulo.

KLASS, D. L. (1998). Biomass For renewable energy. Fuels and chemicals. San Diego: Academic Press, 651p.

MACEDO, R. T. N. (2009). Estudo da viabilidade do capim elefante como material de queima numa indústria cerâmica no município de Campos dos Goytacazes. Trabalho de conclusão de curso. UENF

MARINO, L. F. B. (1997). Estudo da expansividade de revestimentos cerâmicos porosos segundo composição mineralógica, pressão de compactação e temperatura de queima. Dissertação de mestrado. UFSCar.

PINATTI, D. G.; CONTE, R. A.; BORLINI, M. C.; SANTOS, B. C.; OLIVEIRA, I.; VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. (2006). Incorporation of the ash from cellulignin into vitrified ceramic tiles. Journal of the European Ceramic Society, 26 (3) - 305-310.

SAIDELLES, A. P. F.; Senna, A. J. T.; Kirchner, R.; Bitencourt, G. (2012). Gestão de resíduos sólidos na indústria de beneficiamento de arroz. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental REGET/UFMS (e-ISSN: 2236-1170). v(5), n°5, p. 904 – 916

SANTOS, P. S. (1989). Ciência e Tecnologia de Argilas. vol. 1, Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 408 p.

SEBRAE (2008). Cerâmica Vermelha: estudos de mercado. [http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/947CE75D32DE1BCB832574C1004E1EC5/\\$File/NT00038DA6.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/947CE75D32DE1BCB832574C1004E1EC5/$File/NT00038DA6.pdf) . Acessado em 20 de janeiro de 2012.

SEBRAE/MG. (2005). Setores estratégicos 2005-2007 – Perfil do setor de Cerâmica. Belo Horizonte.

SEYE, O. Queima Direta de Gramínea Projeto Integrado de Biomassa – PIB. (2003). In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, Campinas.

SILVA, A.M.D ;Incorporação de cinza de capim-elefante em Cerâmica vermelha, Dissertação de Mestrado; Universidade Estadual do norte Fluminense Darcy Ribeiro; 2013.

SILVA, A. V. (2009). Análise do processo produtivo dos tijolos cerâmicos no estado do ceará – da extração da matéria-prima à fabricação. Monografia. Universidade Federal do Ceará.

SILVA, M. L.; LANGE, L. C. (2008). Caracterização das cinzas de incineração de resíduos industriais e de serviços de saúde. *Quim. Nova*, Vol. 31, No. 2, 199-203.

SOARES, J.M.D., QUINTANA, L.M.H., RAMPAZZO, M. (2000). “Avaliação de Blocos Cerâmicos com adição de Cinza de Casca de Arroz”, In: Anais do 44º Congresso Brasileiro de Cerâmica, pp. 15501, São Pedro, SP.

VIANNA JÚNIOR, A.; VIEIRA, L. S. R.; NASCIMENTO, M. V. G. (2000). Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de geração de Energia Elétrica para Projetos de Eletrificação Rural – Energia Biomassa – versão 1. Rio de Janeiro: CEPEL/Centro de Pesquisas de Energia Elétrica 9Relatório Técnico ADG/PER – 789/00), p.

VIEIRA, C. M. F. & MONTEIRO, S. N. (2004). Solid state sintering of red ceramics at lower temperatures. *Ceramics Internacional*. V. 30, p. 381-387.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. (2006). Cerâmica Argilosa Incorporada com Resíduo Oleoso Proveniente do Setor Petrolífero. *Revista Matéria*, v. 11, n. 3, pp. 217 – 222. <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10804>.

VIEIRA, C. M. F. ; BORLINI, M. C. ; MONTEIRO, S.N. (2007) . Characterization of Clayey Ceramic Incorporated with Eucalyptus Firewood Ash. In: TMS 2007 - 136th Annual Meeting & Exhibition, Orlando. In: TMS 2007 - 136th Annual Meeting & Exhibition. Warrendale, PA : THE MINERALS, METALS & MATERIALS SOCIETY. v. 1. p. 180-180.

VIEIRA, C. M. F.; SOARES, J. B.; MONTEIRO, S. N. (2008). Desenvolvimento de massas de revestimento cerâmico com argila caulínica e nefelina sienito. *Cerâmica* 54. 184-192.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S.N. (2009). Incorporation of solid wastes in red ceramics – an updated review. *Revista Matéria*, v. 14, n. 3, pp. 881 – 905.

VIEIRA, C. M. F.; PINHEIRO, R. M. (2011). Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. *Cerâmica* 57, 319-323.

