

**INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE CINZA DE SERRAGEM DE
MADEIRA NAS PROPRIEDADES TÉCNICAS DE CERÂMICA
VERMELHA**

FILÍPE DOS SANTOS

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO - 2016**

INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE CINZA DE SERRAGEM DE MADEIRA NAS PROPRIEDADES TÉCNICAS DE CERÂMICA VERMELHA

FILIFE DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais.

Orientador: Prof. José Nilson França de Holanda

Campos dos Goytacazes - RJ
Agosto - 2016

INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE CINZA DE SERRAGEM DE MADEIRA NAS PROPRIEDADES TÉCNICAS DE CERÂMICA VERMELHA

FILIPE DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e tecnologia, da Universidade
Estadual do Norte Fluminense, como parte
das exigências para obtenção de título de
mestre em Engenharia e Ciências dos
Materiais.

Aprovada em: 22 de agosto de 2016

Comissão Examinadora:

Prof. Sidnei José Gomes Sousa (Doutor, Engenharia e Ciência dos Materiais) –
FAETEC/CVT

Prof. Mateus Carvalho Amaral – (Doutor, Engenharia e Ciências dos Materiais) –
UENF

Prof.^a Márcia Giardinieiri de Azevedo (Doutora, Engenharia Química) - UENF

José Nilson França de Holanda (Doutor, Engenharia de Materiais) – UENF
Orientador

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida e por todos os que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais – PPGEM da Universidade Estadual do Norte fluminense – UENF pelas condições fornecidas durante o Mestrado.

De forma específica gostaria de agradecer alguns colegas que foram fundamentais para realização deste trabalho, pela parceria e por sempre acreditarem em mim quando esmorecia diante das dificuldades enfrentadas. São eles: Fernanda Peixoto, Carlos Alberto, Geovana Girondi. Agradecer também ao Professor José Nilson França de Holanda, pela paciência e toda dedicação que teve comigo durante esse tempo. Foram inúmeras vezes que me ajudou nos momentos mais difíceis.

Por fim, gostaria de agradecer o Rodolfo Gama que gentilmente abriu as portas de sua empresa para que pudesse coletar as amostras de argilas que foram estudadas neste trabalho. Sem o material nenhum estudo poderia ser realizado.

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

INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE CINZA DE SERRAGEM DE MADEIRA NAS PROPRIEDADES TÉCNICAS DE CERÂMICA VERMELHA

Filipe dos Santos

22 de agosto de 2016

Orientador: Prof. José Nilson França de Holanda

No Brasil a indústria de cerâmica vermelha gera enormes volumes de resíduo de cinza de serragem de madeira durante a produção de cerâmica vermelha. Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência da adição de resíduo de cinza de serragem de madeira nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha. Inicialmente o resíduo de cinza de serragem de madeira foi caracterizado em termos de composição química, difração de raios X e análise granulométrica. Massas argilosas contendo até 20 % em peso de resíduo de cinza de serragem de madeira foram preparadas, prensadas em matriz uniaxial e queimadas entre 800 e 1100 °C. As seguintes propriedades tecnológicas foram determinadas: retração linear, absorção de água, massa específica aparente, porosidade aparente e resistência à compressão. Os resultados experimentais indicaram que o resíduo de cinza de serragem de madeira é composto principalmente de óxidos de Si, Al, Fe, Ca, Mg e K, bem como influenciou positivamente as propriedades tecnológicas das peças de cerâmica vermelha. Os resultados também mostraram que até 15 % em peso de resíduo de cinza de serragem de madeira como substituto parcial de argila plástica permite a obtenção de produtos de cerâmica vermelha de boa qualidade técnica.

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

INFLUENCE OF WOOD SAWDUST ASH WASTE ON THE TECHNICAL PROPERTIES OF RED CERAMIC

Filipe dos Santos

August 22, 2016

Advisor: Prof. José Nilson França de Holanda

In Brazil the red ceramic industry generates huge volumes of wood sawdust ash waste during the production of red ceramic. This study aims to evaluate the influence of the addition of wood sawdust ash waste on the technological properties of red ceramic. Initially the wood sawdust ash waste was characterized in terms of chemical composition, X-ray diffraction, and particle size analysis. Clayey masses containing up to 20 % in weight of wood sawdust ash waste were prepared by uniaxial pressing and fired between 800 and 1100 °C. The following technological properties were determined: linear shrinkage, water absorption, apparent specific mass, apparent porosity, and compressive strength. The experimental results indicated that the wood sawdust ash waste consists primarily of Si, Al, Fe, Ca, Mg and K oxides, and positively influenced the technological properties of the red ceramic pieces. The results also showed that up to 15 % in weight of wood sawdust ash waste as a partial substitute for plastic clay allows obtaining red ceramic products of good technical quality.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	12
1.1 Aspectos Gerais	12
1.2 Objetivos	13
1.3 Justificativas	13
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Materiais Cerâmicos.....	15
2.2 Cerâmica Vermelha.....	15
2.3 Argila	16
2.4 Característica das argilas	18
2.5 Argila de Campos dos Goytacazes	19
2.6 Polo Ceramista de Campos dos Goytacazes	19
2.7 Processamento de fabricação da cerâmica vermelha	20
2.7.1 Extração e Desintegração	22
2.7.2 Preparação de massa cerâmica	23
2.7.3 Processo de Conformação	24
2.7.4 Processo de Secagem	26
2.7.5 Processo de Queima	28
2.8 Categorização de resíduos.....	32
2.9 Aplicação de resíduos em cerâmica.....	33
2.10 Resíduo de cinzas	34
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1 Matérias-primas.....	36
3.2 Caracterizações do resíduo de cinza de serragem	37
3.2.1 Difração de raios-X.....	37
3.2.2 Composição química	37
3.2.3 Análise granulométrica, Plasticidade e Morfologia	38
3.3 Formulação e Preparação das Massas Cerâmicas	39
3.4 Preparação das Peças Cerâmicas	39
3.5 Queima das Peças de Cerâmica Vermelha.....	39
3.6 Caracterização das Peças Cerâmicas Queimadas	40
3.6.1 Retração linear de queima	40
3.6.2 Absorção de água	40

3.6.3 Massa específica aparente.....	40
3.6.4 Porosidade aparente	41
3.6.5 Resistência à compressão diametral.....	41
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 Caracterização do resíduo de cinza de serragem de madeira usado	43
4.2 Avaliação das propriedades tecnológicas das peças queimadas.....	46
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	54
5.1 Conclusões.....	54
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Folhas tetraédricas e octaédricas.....	17
Figura 2 – Tubos e tijolos Cerâmicos	17
Figura 3 – Fluxograma do processo de fabricação da cerâmica vermelha	21
Figura 4 – Processo de extração.....	22
Figura 5 – Processo de Desintegração	23
Figura 6 – Processo de preparação da massa cerâmica	24
Figura 7 – Processo de extrusão.....	25
Figura 8 – Processo de secagem.....	27
Figura 9 – Processo de Queima.....	29
Figura 10 – Decomposição da argila.....	30
Figura 11 – Transformação do quartzo	30
Figura 12 – Fluxograma do trabalho experimental	36
Figura 13 – Difratoograma de raios X do resíduo de cinza de serragem de madeira: Q= Quartzo; Ca=Calcita; Gy=Gypsum; Mo=Montmorilonita; Go=Goetita; K=Caolinita; P=Fosfato de Cálcio; Po=Portlandite; Mg=Sulfato de magnésio hidratado	44
Figura 14 – Morfologia das partículas do resíduo de cinza de serragem	46
Figura 15 – Retração linear de queima das peças de cerâmica vermelha	47
Figura 16 – Massa específica aparente das peças de cerâmica vermelha	49
Figura 17 – Absorção de água das peças de cerâmica vermelha	50
Figura 18 – Porosidade aparente das peças de cerâmica vermelha.....	52
Figura 19 – Resistência à compressão diametral das peças de cerâmica vermelha.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição das massas cerâmicas (% em peso).....	39
Tabela 2 – Composição química do resíduo de cinza de serragem.	44
Tabela 3 – Composição granulométrica do resíduo de cinza.	45
Tabela 4 – Retração linear após queima das peças cerâmicas (%).	47
Tabela 5 – Massa específica aparente após queima das peças cerâmicas (g/cm ³).	48
Tabela 6 – Absorção de água após queima das peças cerâmicas (%).	50
Tabela 7 – Porosidade aparente após queima das peças cerâmicas (%).	51
Tabela 8 – Resistência à compressão diametral após queima das peças cerâmicas (MPa).	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- AA – Absorção de água
- ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica
- AG – Análise granulométrica
- AT – Análise térmica
- ATD – Análise térmica diferencial
- ATG – Análise termogravimétrica
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- CCB – Centro Cerâmico do Brasil
- DRX – Difração de raios X
- EDX – Eflorescência de raios X
- FRX – Fluorescência de raios X
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICE – Indústria de cerâmica estrutural
- MEA – Massa específica aparente
- NBR – Norma Brasileira
- PA – Porosidade aparente
- RLq – Retração linear de queima
- RCq – Resistência a compressão diametral
- Mb – Massa específica Bulk

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos Gerais

O município de Campos dos Goytacazes localizado ao norte do estado do Rio de Janeiro possui um parque industrial de aproximadamente 130 indústrias de “cerâmica vermelha” com uma produção estimada de 75.000.000 (setenta e cinco milhões) de peças/mês (Souza et al., 2008). As matérias-primas básicas utilizadas na fabricação de produtos de cerâmica vermelha são essencialmente argilas vermelhas sedimentares mineradas na própria região de Campos dos Goytacazes-RJ.

A produção de tijolos e telhas depende muito das características de suas matérias-primas. Sabe-se que as argilas são compostas de minerais argilosos plásticos e minerais não plásticos. Os minerais não plásticos, representados essencialmente por areias, micas, óxidos de ferro e alumínio, carbonatos, feldspatos, entre outros, atuam como agentes desplastificantes reduzindo a plasticidade global das composições de partida. As argilas plásticas (denominadas industrialmente por “argila gorda” ou “argila forte”) são ricas em partículas de argilominerais e granulometria muito fina. Como consequência, o processamento de uma composição contendo excessivamente este tipo de argila torna-se complicado. Para facilitar o processo de fabricação, são introduzidas outras argilas (denominadas por “argilas magras”), que apresentam um maior teor de impurezas misturadas aos argilominerais, reduzindo a plasticidade da massa (Ribeiro et al., 2003). Assim, na maioria das vezes a indústria de cerâmica vermelha utiliza uma massa argilosa composta destes dois tipos de argilas em proporções pré-determinadas de acordo com as argilas utilizadas. Deve-se ressaltar que uma boa formulação e preparação da massa argilosa resultam na economia de matéria-prima e condições favoráveis de processamento cerâmico com concomitante melhoria da qualidade do produto final.

Na região de Campos dos Goytacazes-RJ o principal combustível utilizado na indústria de cerâmica vermelha é a lenha, principalmente eucalipto. Tem sido reportado na literatura (Vieira e Monteiro, 2009) que um consumo médio de 0,4 m³/milheiro, densidade de 0,4 t/m³ e teor de cinzas da ordem de 3%, geram-se

mensalmente aproximadamente 300 toneladas de cinzas. Assim, a indústria de cerâmica vermelha torna-se também geradora de resíduo sólido, no caso resíduo de cinzas de lenha.

O reaproveitamento do resíduo de cinza de lenha é um tema de grande importância tecnológica e ambiental. Neste contexto, o presente trabalho de dissertação de mestrado pretende contribuir para buscar uma solução tecnológica viável para o descarte final deste abundante material de resíduo sólido.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho de dissertação de mestrado é avaliar a influência da incorporação do resíduo cinza da serragem de madeira nas propriedades técnicas de cerâmica vermelha.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar do ponto de vista químico, mineralógico e granulométrico o resíduo de cinza de serragem de madeira; e
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas das peças de cerâmica vermelha elaboradas

1.3 Justificativas

As justificativas para realização deste trabalho são:

- Buscar alternativa tecnológica para o reaproveitamento do resíduo de cinzas de serragem de madeira gerado na indústria de cerâmica vermelha de Campos dos Goytacazes, de forma ecológica e econômica. Os resíduos de cinzas de madeira/lenha são geralmente materiais não plásticos. Assim, toneladas de resíduo de cinzas de serragem de madeira poderiam ser usadas como uma matéria-prima alternativa no próprio processo produtivo de cerâmica vermelha. Podendo gerar uma relativa redução de custos no processo produtivo.

- Estudar a influência da adição do resíduo cinza da serragem de madeira nas propriedades físicas e mecânicas das peças de cerâmica vermelha é de alto interesse técnico-científico.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os fundamentos básicos que estão relacionados às matérias-primas, materiais cerâmicos, e o resíduo de cinza de serragem de madeira que será objeto do presente estudo.

2.1 Materiais Cerâmicos

A associação brasileira de cerâmica (ABC) define os materiais cerâmicos como todos os materiais que por ventura são utilizados na engenharia, ou como produtos químicos inorgânicos (ABC, 2015). Exceto os seus metais e suas ligas que geralmente só são aproveitáveis quando o material é submetido a um elevado gradiente de temperatura. Pode-se dizer também que os materiais cerâmicos são compostos sólidos constituídos ao menos por um metal e um sólido elementar não-metálico, ou um não-metal. Dois sólidos elementar não-metálico, ou ainda um sólido elementar não-metálico e um não-metal. Em consequência dessa variação de propriedades os materiais cerâmicos vão ser subdivididos em vários setores, cada qual com sua característica específica. São eles: Cerâmica vermelha, materiais de revestimento, cerâmica branca, materiais refratários, isolantes térmicos, abrasivos, vidros, fitas e corantes, cal, cerâmica avançada e cimento.

2.2 Cerâmica Vermelha

A utilização da argila para fabricação de produtos é bem primitivo, e a sua evolução acompanha o desenvolvimento do homem até os dias de hoje. Seu aproveitamento foi inicialmente possível em lugares onde se podia encontrar a abundancia deste material, seu processo foi se desenvolvendo ao longo da História, primeiro por cozimento ao sol e depois com cozimento ao forno. Uma curiosidade bastante interessante sobre a cerâmica são as citações bíblicas que relata que os blocos utilizados na construção da torre de babel eram blocos cerâmicos (Petrucci, 2007).

A cerâmica vermelha é classificada em decorrência dos produtos produzidos por matérias-primas argilosas, estes que após a queima que geralmente ocorre em

um gradiente variante de 850 a 950 °C, tornam a apresentar uma coloração avermelhada, são representados por tijolos, blocos, tubos, lajotas, vasos ornamentais, telhas, entre outros (Findes, 2009).

Essas argilas de queima avermelhada, ou comum, como normalmente são chamadas, possuem um diferencial com relação às substâncias minerais, geralmente são consumidas e produzidas em grande escala, sendo especificamente utilizadas na produção de cerâmicas vermelhas e revestimento. Como essa matéria-prima possui baixo valor de mercado, torna-se inviável o transporte da mesma para locais distantes das jazidas, podendo inclusive ser fator de inviabilidade da produção. Portanto, o que vamos ter geralmente é a instalação destas empresas em locais próximos a estas jazidas, e ao seu mercado de consumo, pois se o produto final tiver que ser escoado para uma distância relativamente grande, também poderá ocorrer o risco da inviabilidade do negócio, por conta do alto custo logístico (Findes, 2009).

O Brasil possui grandes reservas destas matérias-primas, sua disponibilidade encontra-se em quase todas as regiões do país, um valor estimado de 40% a 50%, das substâncias minerais produzidas no país. Um dado que nos coloca com grande possibilidade de competir com os mercados globais (Findes, 2009).

2.3 Argila

A argila é um material encontrado em abundância no meio ambiente, e possui custo relativamente baixo. Apesar disso, é um material com vasto campo de utilização, incluindo a indústria cerâmica. Segundo Callister (2014), a maioria dos materiais cerâmicos é aplicada em: vidros, produtos estruturais à base de argila, louças brancas, refratários, abrasivos, dentre outros. É constituída de micropartículas minerais em decorrência dos sedimentos geológicos. Em sua composição química encontramos silicatos hidratados de alumínio ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), ferro (Fe) e magnésio (Mg). Sua estrutura é composta por redes cristalinas constituídas de folhas tetraédricas e octaédricas, como pode ser visto na Figura 1 (Santos, 1989).

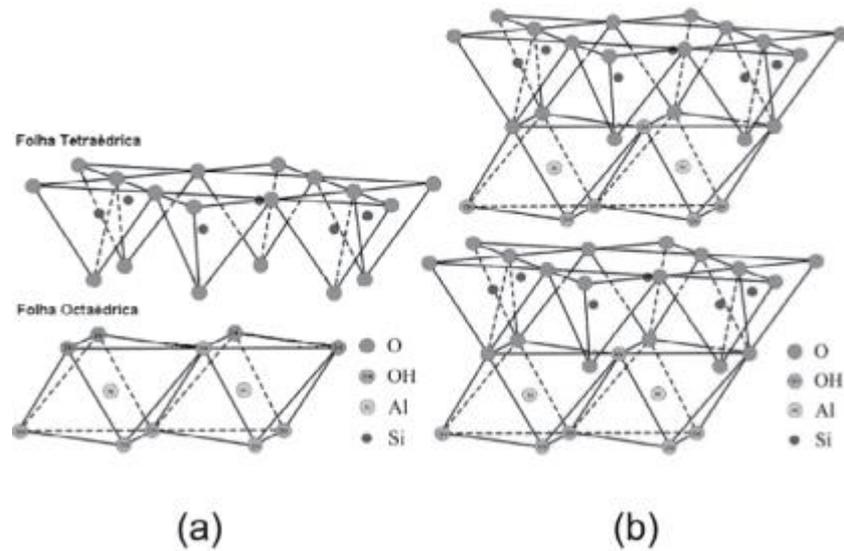


Figura 1 – Folhas tetraédricas e octaédricas
 Fonte: Coelho, Santos e Santos, 2007.

A conformação de produtos à base de argila é um processo sem muitas dificuldades. A massa para modelagem das peças, geralmente, é formada por argila e água, passando por um período de secagem, para eliminar parte da umidade, para então passar pelo processo de cozimento, que é feito a elevadas temperaturas, aumentando a resistência mecânica da argila (Callister, 2014).

As argilas são formadas a partir das camadas no solo, e em um grande tempo geológico. Existem uma grande variação de argilas, e cada qual segundo suas propriedades, são destinadas ao uso em um determinado segmento. Têm-se as que são ricas em óxidos fundentes tipo: CaO, MgO, FeO derivados do “folhelhos” que são grandes camadas compactas de argila no solo, podendo ter 50 ou 100 metros de extensão, e queimam normalmente em vermelho (Santos, 1989). Essas argilas são mais usadas campo da cerâmica vermelha/estrutural, como tubos, tijolos, etc (Figura 2).



Figura 2 – Tubos e tijolos Cerâmicos
 Fontes: arquitectandoufpb, 2010 e ceramicafelisbino, 2015

A argila possui um papel importante na história da humanidade, desde o homem primitivo foi observado que esse material misturado com água e depois levado ao fogo em alta temperatura, aumentava sua capacidade de resistência, portanto várias civilizações ao longo da história passaram a desenvolver métodos de melhoria para enriquecer sua qualidade. O desenvolvimento tecnológico atual possibilita uma maior capacidade de análise de suas propriedades, e mesmo hoje esse processo possui um custo baixo, o que se torna oneroso no final é o processamento e beneficiamento do material (Santos, 1989).

2.4 Característica das argilas

A argila por ter uma composição complexa de vários argilominerais, geralmente é subdividida e classificada de acordo com uma propriedade específica mais consistente em seu corpo, portanto vamos ter as argilas terciárias ou terciárias que representam a classe mais antiga das argilas, são coloridas e são geralmente usadas na cerâmica estrutural. Depois temos a argila Quaternária, que possui uma coloração mais escura, variando do preto, cinza, marron. A formação de sua coloração está ligada ao seu ambiente, que são as bacias do rio Tietê e todos seus córregos afluentes. Costuma-se ver a aplicação deste tipo de argila em cerâmica de louças (Santos, 1989).

A origem das argilas como rocha e encontradas no solo por sedimentação, podem ter variados tipos de composição. As aluviâres ou aluvionares são formadas a partir de brejos e várzeas, resultantes do transporte de um longo trecho pelas águas e torrentes de produtos de rocha sílicas-aluminosas, como os caulins. Esse tipo de argila formada neste processo é geralmente usado para cerâmica de louças brancas. E é muito difícil encontrar produtos deste tipo que teve como base qualquer outro tipo de argila que não seja este citado (Santos, 1989).

Temos ainda os tipos eólicas e glaciais. Esta primeira é muito comum na China e seu transporte se dá por meio dos ventos. A segunda é decorrente das geleiras que por meio de fenômenos naturais como avalanche entre outros, se desprendem de uma da outra, gerando uma moagem das rochas, dando origem a um produto muito fino. Neste caso refiro-me a argila (Santos, 1989).

2.5 Argila de Campos dos Goytacazes

A principal característica das argilas encontradas na cidade de Campos dos Goytacazes é a presença de grande quantidade de caulinita, mas também é comum a presença de outros minerais, como: o quartzo, a mica, rutilo entre outros (Pinheiro e Vieira, 2011) Elas apresentam no geral alto teor de plasticidade. As massas formuladas na cidade, em geral, possuem uma mistura de argilas “forte” e “fraca”. No entanto existem algumas cerâmicas que às vezes utilizam outro material na composição da massa, como por exemplo, areia laterítica quartzosa, com a intenção de melhorar algum aspecto da sua propriedade. Essa mistura é bastante variável e vai depender do tipo de produto a ser fabricado, e quais as principais propriedades que vão estar relacionadas a eles para garantir excelência e qualidade (Pinheiro e Vieira, 2011).

Segundo Borlini (2006) o alto teor de plasticidade encontrada nas argilas de Campos faz com o que se utilize uma maior quantidade de água para se chegar a uma massa conforme, porém esse aumento de água causa problemas em outras áreas do processo, por exemplo, na extrusão das peças, e na etapa de secagem, que aumentam os riscos de defeitos e o prolongamento do processo, tendo impacto diretamente na produtividade e no consumo energético.

A produção de produtos com maior valor agregado como é caso das telhas, com menor porosidade, só conseguem ser fabricados com a incorporação de material não plástico. Este que por sua vez fornece óxidos alcalinos que ajudam na formação de fase líquida durante a etapa de queima. Segundo pesquisas realizadas com estas argilas, a sugestão é aumentar o teor de fundentes na composição de sua massa (Vieira et al., 2000; Pereira et al., 2011; Peçanha Jr. et al., 2005).

2.6 Polo Ceramista de Campos dos Goytacazes

A cidade de Campos dos Goytacazes está localizada na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, aproximadamente a 279 km da capital estadual, Rio de Janeiro, com uma área de 4.037 Km², sendo o maior município do Estado (IBGE, 2015).

O município de Campos tem no polo cerâmico uma de suas mais importantes atividades econômicas, este polo congrega hoje mais de uma centena de empresas produtoras, as quais geram, por dia, cerca de seis milhões de peças, entre telhas, tijolos e lajotas (Sindicato dos Ceramistas de Campos dos Goytacazes). Esse mercado vem gerando cinco mil empregos diretos e quinze mil indiretos.

O desafio constante destas empresas tem sido à busca de melhorias nos seus processos e produtos, visando um aumento na qualidade final, e ganhos de produtividade e competitividade, tantos nos mercados internos e externos. As dificuldades aparentes estão relacionadas ao custo que estão embutidos nestes investimentos, tecnologias, materiais e etc. Assim como, o fator logístico que pressionam os produtores a buscarem alternativas para minimizar os impactos e tornarem mais acessíveis seus produtos ao maior número de clientes. Uma das estratégias adotadas pelas empresas é diversificar a carteira de produtos, oferecendo ao cliente mais possibilidade de escolhas (Ramos et al., 2008).

2.7 Processamento de fabricação da cerâmica vermelha

Os materiais cerâmicos são produzidos a partir de matérias-primas beneficiadas e com materiais sintéticos de características controláveis, desta forma cada empresa tenta incorporar algum resíduo na massa com o objetivo de conseguir melhorar alguma propriedade específica para fabricação de um determinado produto, depois submetem a determinados processos fazendo com que aconteçam algumas alterações nas propriedades destes materiais. Por meio desta sequência apresentada na Figura 3 procura-se provocar reações físicas ou químicas sob temperaturas elevadas no processo de queima (Santos, 1989).

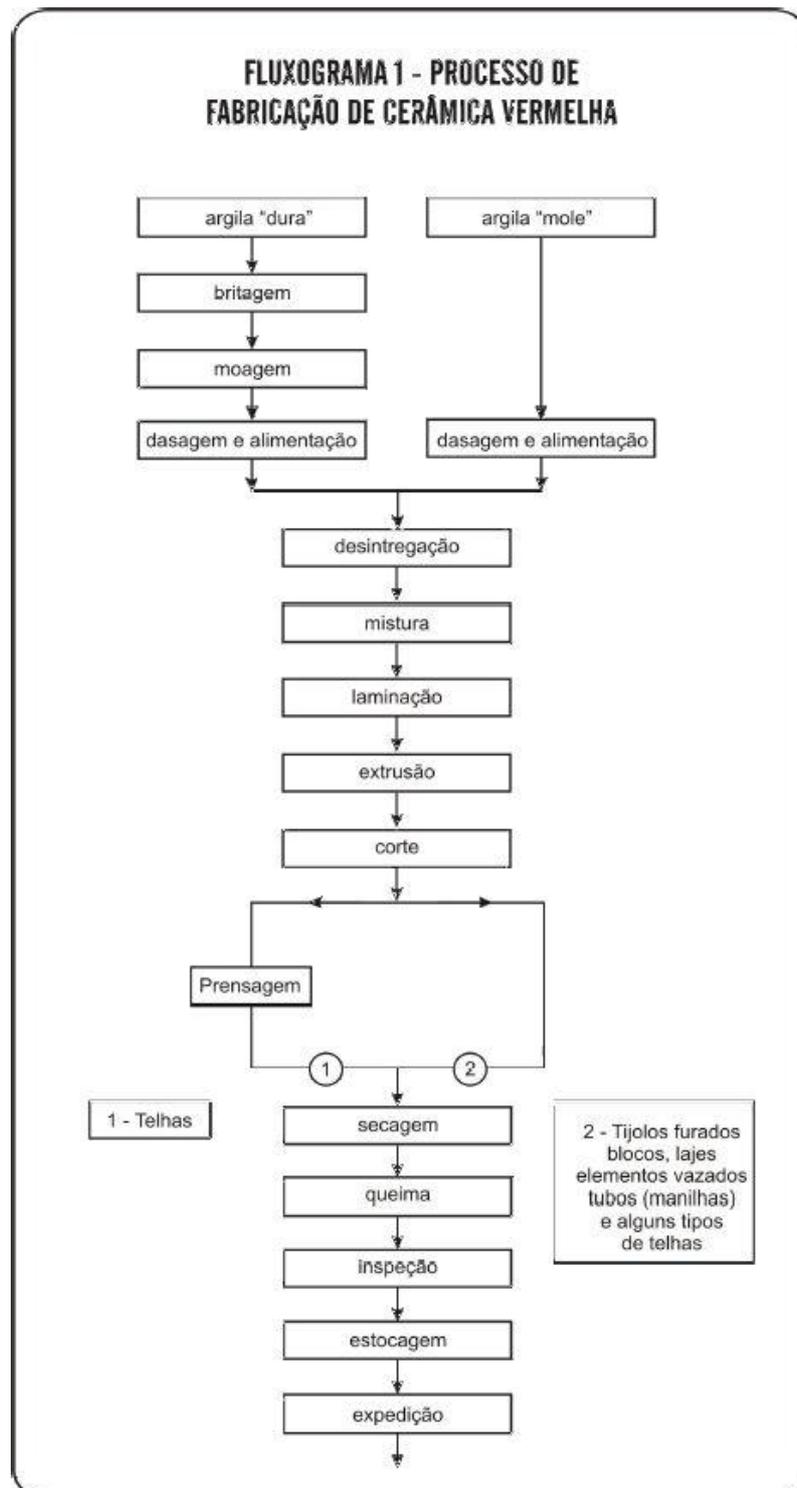


Figura 3 – Fluxograma do processo de fabricação da cerâmica vermelha
 Fonte: Abceram, 2013. Disponível em: <<http://abceram.org.br/fluxograma/>>

2.7.1 Extração e Desintegração

O início do processo da cerâmica vermelha se inicia por meio da extração da argila, que acontece nas jazidas em campo aberto, e que podem ser do tipo plástica ou não-plástica. Geralmente realizado com equipamentos específicos, como tratores e etc. Depois disso é feita uma análise destas jazidas para verificar as suas propriedades, e em sequência a viabilidade logística, uma vez que, por se tratar de uma matéria-prima de pouco valor, caso esteja muito longe do mercado consumidor, o custo logístico torna inviável a produção, abaixo podemos conferir a que ilustra a extração de argila (Guia técnico da cerâmica vermelha, 2013).



Figura 4 – Processo de extração
Fonte: Cerâmica primavera, 2016.

Depois da retirada da argila é feita a estocagem por meio de sazonalidade ou descanso, como também é conhecido. Normalmente o material fica exposto ao tempo em áreas abertas sujeitos ao sol e a chuva, isso contribui para o alívio das tensões e auxilia na plasticidade do material, na homogeneização, e distribuição da umidade da massa (Motta et al., 2001).

O sazonalidade é uma técnica que visa elevar a qualidade nos seus aspectos tecnológicos, diferente do material extraído da jazida, é uma prática comum utilizada por outros países, e consiste estocar as argilas em um sistema de pilhas e então ficam descansando por um período de tempo (Gaidzinski, 2005). O beneficiamento ou desintegração tem como objetivo reduzir a granulometria das partículas e

acontece através de moinhos (Figura 5). O objetivo é chegar a um material homogêneo, com uma boa distribuição granulométrica, e então saber a quantidade de água necessária para o sistema de conformação que irá ser utilizado.



Figura 5 – Processo de Desintegração
Fonte: Equipedeobra, 2012.

2.7.2 Preparação de massa cerâmica

A preparação da massa se dá através da mistura (Figura 6) dos vários tipos de argilas que podem compor a massa, água, e alguns resíduos utilizados para fazer ajustes. O fato é que uma massa de qualidade faz toda diferença no produto final, minimiza as perdas, e torna o ambiente do processo mais equilibrado. Pois do contrário, uma massa de má qualidade prejudica a qualidade do produto final, pode gerar perda de produtividade por conta da quantidade de perdas que podem acontecer ao longo do processo. No processo de secagem geralmente é onde fica mais visível o resultado da qualidade da massa, pois caso a mesma não tenha sido preparada de forma adequada, os produtos tendem a ter deformações e gerar prejuízos (Guia técnico da cerâmica vermelha, 2013).



Figura 6 – Processo de preparação da massa cerâmica
Fonte: Fernandes Terra, 2009.

Nesta etapa o objetivo é chegar a uma massa homogênea, e a redução de sua granulometria, pois com esse aspecto fica garantido o desenvolvimento de superfície específica adequada aos processos de secagem e queima.

2.7.3 Processo de Conformação

A conformação é o processo no qual o objetivo consiste em dar a forma definitiva ao material, ou seja, à massa cerâmica. Existem vários tipos de conformação, a sua forma possui relação direta com o nível de plasticidade e quantidade de água utilizada. A consistência da pasta é que vai ser determinante para escolher o processo de conformação adequado, como por exemplo: A seco, com pasta consistente. Cada um destes processos está ligado a produção de um determinado produto cerâmico.

A conformação seca se dá a partir do processo de prensagem, e produz materiais com excelentes propriedades físicas, como telhas, tijolos, pastilhas. Já com a pasta consistente o processo é realizado através da extrusão, e geralmente utilizado para fabricação de peças vazadas, tijolos furados e blocos cerâmicos.

A prensagem quando se trata de placas cerâmicas, pisos e revestimento, é o processo mais utilizado. Neste processo os pós são umedecidos a uma taxa de 4% a 7% de água, e são comprimidos por duas superfícies, uma móvel e outra fixa, com uma pressão variante de 200 - 400 kgf/cm² (20.000 - 40.000 KPa), a escolha da

pressão vai depender do formato das placas e do tipo de produto. As partículas do material são comprimidas ao um volume tão pequeno, que com a aplicação da pressão obtêm-se dois resultados: empacotamento das partículas e agregação das partículas (ABREU, 1973).

A pressão aplicada faz com que aconteça um rearranjo e a deformação dos grãos, resultando em uma elevada compactação do corpo cerâmico, porém, para que isso aconteça é necessária uma quantidade de água para os pós, isso vai impactar na plasticidade do material. Nesse processo também ocorre de maneira eficiente uma saída de ar da massa. Esse processo de pressão contribui para o aumento da densidade e isso facilita uma melhor ligação e menor contração nas etapas de queima subsequentes.



Figura 7 – Processo de extrusão
Fonte: Whatmat, 2014.

A indústria cerâmica utiliza vários processos de moldagem, tais como a: moldagem plástica, a moldagem manual ou por extrusão (Figura 7); Para a moldagem de tijolos de alvenaria, blocos cerâmicos, tijolos furados e telhas são utilizados a moldagem por extrusão (Santos, 1989).

A extrusão é uma técnica utilizada pela indústria cerâmica há pelo menos 150 anos, ao longo desse tempo sua tecnologia sofreu algumas pequenas alterações, mais especificamente a partir da década de 50 do século passado. Entretanto, o processo de conformação industrial se revelou essencial para as indústrias de cerâmica vermelha, principalmente para aquelas que trabalham com o

barro vermelho e que fabricam telhas e tijolos. Essa técnica está associada a um grande volume produtivo, e especialmente os produtos de seção transversal constante (tijolo) e essencial para homogeneização e a retirada do ar da massa (Blackurn, 1992; Reed, 1996).

A massa é depositada em uma cápsula deformável e esta é forçada a passar por um orifício cuja seção possui uma determinada forma específica, e esta forma que será responsável por criar o formato da massa, sendo cortada posteriormente por uma lâmina, dando forma final a peça. A compactação acontece devido à pressão existente no processo, e o resultado é uma peça com rigidez razoável.

O fator de plasticidade da massa possui relação direta com a qualidade final dos produtos extrudados. Portanto, sugere-se que sempre que for possível extrudar a massa na zona de máxima plasticidade, isso evita problemas nesta etapa. As massas com nível alto de umidade, perto do limite líquido, tende ao deslizamento de partículas, isso acarreta a possibilidade da massa agarra-se às hélices da extrusora e seguir pelo centro da fieira com maior velocidade. Esse contato com a parede aumenta o atrito com a extrusora, e como isso a massa também tenderá a seguir com maior velocidade no centro, enquanto as forças de compressão e o desgaste dos diversos componentes metálicos aumentam (Cordeiro, 1993).

2.7.4 Processo de Secagem

A etapa de secagem pode ser realizada de duas formas: Naturalmente (Figura 8) ou Artificialmente. Na secagem natural é importante observar as condições climáticas, pois apesar de fornecer um baixo custo, o tempo da secagem será mais longo. Isso significa uma baixa produtividade, e como vai depender do clima, isso vai demandar uma dificuldade maior para controlar o processo, o que pode ocasionar uma série de problemas nas peças, tais como: imperfeições, trincas, homogeneidade não adequada, isso pode trazer grandes prejuízos. Já na secagem artificial, obtém-se maior qualidade, porém por causa dos equipamentos e profissionais qualificados para poder controlar o processo, o custo é bem mais elevado. De qualquer forma, existirá um grande ganho no tempo de conclusão deste processo e aumento da produtividade (Guia técnico da cerâmica vermelha, 2013).



Figura 8 – Processo de secagem
Fonte: Belavistatijolos, 2014.

Uma das partes críticas deste processo é a movimentação destes materiais depois da secagem, uma vez que os mesmos estão sensíveis, e, portanto, não é recomendado que sofram com solavancos, trepidações, principalmente se este transporte for feito via manual. Uma vez que tenha chegado ao nível de secagem esperado, deve-se levar o material o mais rápido possível para o forno. Pois a argila tem a capacidade de reabsorver a umidade do ar e tornar o material fraco.

Existem algumas orientações que devem ser seguidas nesta etapa para melhorar o processo, caso o mesmo esteja sendo feito de forma natural. Evitar um empilhamento com mais de 5 peças, distanciar os blocos uns dos outros e etc. No que tange a secagem artificial, teremos tipos de secadores, como por exemplo o secador intermitente, geralmente usado para produtos mais sensíveis como telhas e blocos maciços. O secador sem-contínuo, e o secador contínuo. Na secagem o objetivo é eliminar a água através do ar. No início do processo da secagem a variação da umidade nos produtos fica em torno de 20% a 30%, depois essa umidade residual deve chegar abaixo de 5%. O processo mal executado tende a causar avaria nas peças como retração e descontinuidade da peça. A duração do processo natural pode durar em média 3 a 8 dias, isso dependerá da temperatura ambiente e da ventilação. Na secagem artificial a temperatura deve ser de início 40° C , aumentando de forma gradativa até 100°C. Caso tenhamos uma temperatura elevada de início poderá ocorrer trincas. Temos o conhecimento que toda argila sofre perda de 50% de sua água antes de atingir sua retração máxima. Desta forma é possível acelerar o processo até obter esses valores. No geral a umidade

desejada para os produtos ficam em torno de 3% a 4%, dependendo do produto, a contração pode variar em torno de 4% a 10%, a umidade relativa do ar vai ser fator de grande importância neste processo, no início espera-se que a umidade esteja em torno de 95%, para que não ocorra a eliminação da água de maneira rápida (MOTTA, 2001).

2.7.5 Processo de Queima

A queima é uma etapa fundamental na obtenção das características dos produtos cerâmicos (Figura 9), pois é nela que acontecem as alterações físico-químicas, alterando as propriedades mecânicas do material, como a perda de massa, a possibilidade de formação de novas fases cristalinas, formação da fase vítrea, e a sinterização dos grãos. Os produtos são submetidos a um tratamento térmico com altas temperaturas que podem variar em torno de 800 °C a 1.000 °C, em fornos contínuos ou intermitentes (Santos, 1989).

Os fornos são alimentados por diversas fontes de energias, como por exemplo, a lenha, serragem, os rejeitos de madeira, o óleo ou carvão mineral, gás natural, entre outros. As etapas da queima subdividem-se em três partes por assim dizer, a primeira delas é a desidratação que acontece nos intervalos de temperatura entre 150 °C e 600 °C funciona como uma complementação da secagem.

Depois acontece a oxidação, essa etapa se realiza no intervalo de temperatura entre 600 °C e 900 °C, onde as matérias orgânicas são queimadas e o carvão eliminado. E por fim, a verificação, que ocorre no intervalo de 900 °C a 1200 °C a sílica é fundida formando pequenas quantidades de vidros que se aglomera com os outros elementos fechando os poros do material.



Figura 9 – Processo de Queima
Disponível em: <mma.gov.br>, 2014.

Os fornos contínuos trabalham em ciclos de 24 horas/dia, sem necessidade de paradas para carga e descarga dos produtos, o calor é aproveitado para aquecer o ar combustão ou para pré-aquecer a carga enfiada. Os fornos intermitentes trabalham em ciclo periódico de carga-queima-descarga. O calor utilizado para aquecer a carga e a estrutura do forno, não é recuperado no final da queima, nem durante a fase de resfriamento. Todo o calor retirado na massa dos produtos e na massa estrutural do forno é dissipado para o ambiente (Santos, 1989).

Na etapa de queima o fenômeno comum é a eliminação da água livre, esta que está fisicamente ligada à argila, isso acontece caso o material não tenha sido seco em estufa. Desta maneira o material sofre uma perda de massa, porém sem retração, uma vez que essa água é eliminação da água presa nos poros da peça. Normalmente a eliminação da água adsorvida é relacionada a uma retração, a qual sofre uma variação de acordo com o argilomineral que se apresenta em maior quantidade. A Variação de temperatura entre 200°C e 300°C temos a eliminação da água adsorvida dos minerais, com uma considerável perda de massa. Em temperaturas elevadas pode-se ter a liberação das oxidrilas dos hidróxidos (como o hidróxido de alumínio) e, dos 400°C aos 500°C, a eliminação da água estrutural dos diversos minerais argilosos (Santos, 2001).

Nas temperaturas de 450 °C e 650 °C acontece à decomposição das argilas (Figura 10), e temos a liberação em vapor da água de constituição, ou seja, a combinação química da caulinita que é constituinte essencial da argila, contendo também sílica e alumina (Facincani, 1993; Santos, 2001).

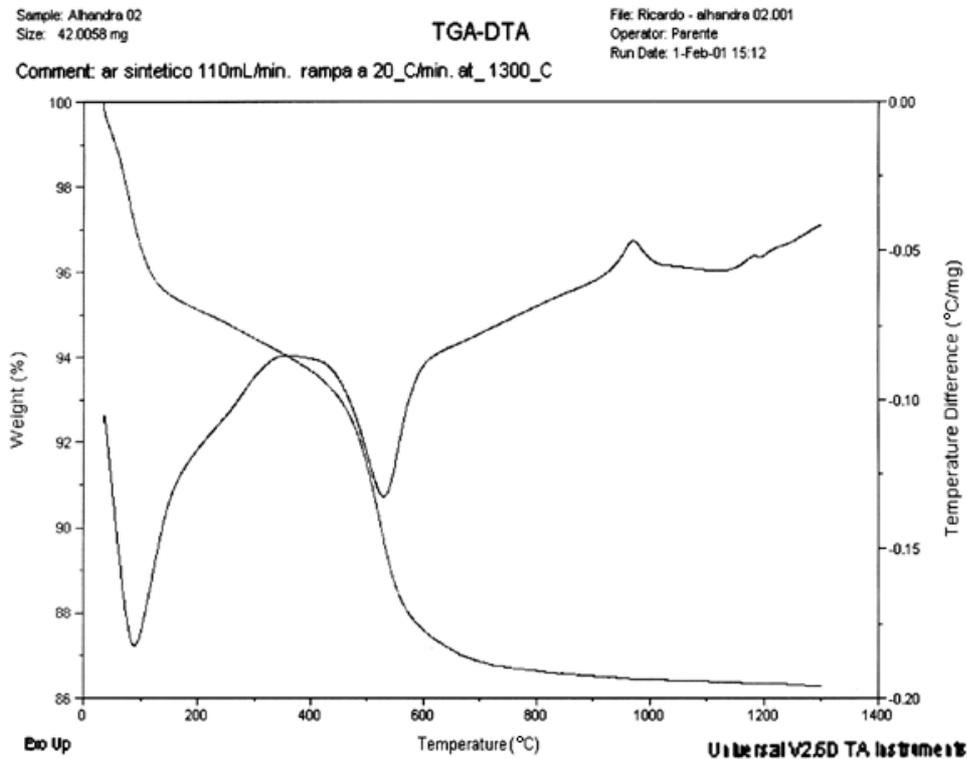


Figura 10 – Decomposição da argila
 Fonte: Coelho, Santos e Santos, 2007.

As reações acima descritas acontecem de formas endotérmicas, ou seja, com absorção de energia. Contudo, podem acontecer reações exotérmicas, liberando energia, devido à combustão de substâncias orgânicas presentes naturalmente ou adicionadas (Santos, 2001).

A transformação do quartzo (Figura 11) na sua forma expansão poderá se dar na temperatura variante de 570°C, durante o resfriamento, nesta temperatura ocorre contração (Santos, 2001).

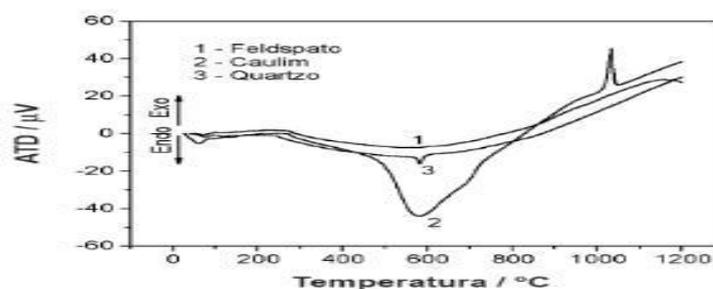


Figura 11 – Transformação do quartzo
 Fonte: Rodrigues e Marchetto, 2002.

As dissociações dos carbonatos existentes na argila vão acontecer por volta de 400°C a 600°C, em um primeiro momento acontece com o carbonato de magnésio, depois em uma temperatura mais elevada, por volta de 800 °C, ocorre a dissociação do carbonato de cálcio, muito mais numeroso. Essas reações químicas terão influência direta relacionada à velocidade de aquecimento, essa dissociação de carbonatos libera CO₂ e absorve calor. Portanto, faz se necessário que as reações se completem e sejam uniformes tanto nas pilhas como em cada peça cerâmica (Santos, 2001).

A reação química da sílica e da alumina com elementos fundentes acontece acima dos 700°C, com isso temos a formação de complexos sílico-aluminatos, que são responsáveis por algumas características do material como: dureza, resistência física e química, e pela estabilidade da peça cerâmica (Santos, 2001).

A dilatação máxima ocorre em torno de 800°C geralmente, nesta temperatura é possível estabelecer um padrão de queima que abrange um intervalo de temperatura de 900°C a 950°C, fase que temos a iniciação da retração e sinterização, ou seja, as transformações mineralógicas. Quando acontece o pico de dilatação, logo depois temos as ilitas que se retraem em torno de 800°C. Isto significa que temos um intervalo muito curto se considerarmos a variação de temperatura, como as ilitas estão ligadas aos carbonatos, estes que se dissocia, a temperaturas mais elevadas como 900°C e dão origem a uma expansão, resultado de uma inflexão característica (Santos, 2001).

Quando atingida a temperatura máxima, que na cerâmica estrutural gira em torno de 1000°C, a peça sofre uma retração e a ceder ao calor ambiente do forno, isso acontece de forma contrária no pré-aquecimento e na fase inicial de queima. Neste sentido, pode-se obter padrões de parâmetros para evitar contrações prejudiciais a peça que podem gerar micro fissuras, fissuras (Santos, 2001).

Esse processo de sinterização consiste na queima do material cerâmico, isso nada mais quer dizer que, uma coalescência de partículas de pó para formar uma massa mais densa, onde o material irá apresentar uma variação de contração e volume e apresenta uma redução de porosidade, junto com suas melhorias em suas propriedades mecânicas (Callister, 2002).

2.8 Categorização de resíduos

Existem diversas maneiras de categorizar os resíduos sólidos, tudo vai decorrer da metodologia escolhida pelo autor, por exemplo: o local de produção, fonte de geração, aspecto sanitários, econômicos e de incineração, combustividade, e o grau de biodegradabilidade.

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.”

Já segundo a agência nacional de Proteção Ambiental norte-americana (*Environmental Protection Agency*, EPA, USEPA 9010C/9014.), resíduo perigoso é caracterizado como: “um resíduo sólido ou uma combinação destes os quais em decorrência da quantidade, concentração ou características físicas, químicas ou infecciosas podem causar ou contribuir significadamente para o aumento da mortalidade ou para o aumento de doenças sérias irreversíveis ou reversíveis

incapacitantes; e significar um perigo presente ou potencial para a saúde humana ou meio ambiente quando tratado, armazenado, transportado, disposto ou usado de maneira imprópria”.

2.9 Aplicação 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 consistem numa forma de reciclagem de matérias atendendo exigências de órgão ambientais (Vieira *et al.*, 2007). Segundo Saidelles *et al.* (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.

Contudo em 2009, surge uma nova proposta de classificação para resíduos na indústria de cerâmica (Vieira e Monteiro, 2009) contrariamente a Dondi *et al.* (1997a; 1997b). Essa modificação na classificação foi introduzida nas categorias originais de resíduos para permitir uma maior variedade a ser considerado. Além de resíduos combustível e fundentes, uma categoria de resíduos que afetam a propriedade substituiu o originalmente proposto pelas categorias de resíduos de cinzas volantes e resíduos de redução da plasticidade/plastificante. Foram classificados 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 poder ser incluída nas outras categoria 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 á base de argilas (Dondi, 1997).

Através de buscas na literatura, observam-se pesquisas referentes à incorporação em cerâmica vermelha de uma variedade de resíduos como: escória de siderurgia (Santos Jr *et al.*, 2005), lodo galvânico e poeira de jateamento (Borgo, 2005), pó de granito (Xavier *et al.*, 2006), lama da estação de tratamento de água (Ueno e Leite, 2006), pó de vidro de vasilhame (Costa *et. al.*, 2006), cinzas de carvão mineral (Kniess *et al.*, 2006), resíduo sólido de indústria têxtil (Munhoz, 2006), areia de fundição (Soares *et al.*, 2006), resíduos sólidos da indústria de galvanização (Mothé *et al.*, 2006), cinza de lenha de eucalipto (Borlini *et al.*, 2006), casca de ovo (Freire e Holanda, 2006), minério de ferro (Soares *et. al.*, 2006), resíduo oleoso proveniente do setor petrolífero (Vieira e Monteiro, 2006), cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz (Medeiros *et. al.*, 2010), cinza de bagaço de cana de açúcar (Souza *et. al.*, 2006; Souza *et. al.*, 2011), entre outros.

2.10 Resíduo de cinzas

Podem-se denominar as cinzas como sendo a resultante do processo de combustão de um combustível sólido. O Brasil por ser um grande explorador deste tipo de fonte de energia, acaba que por consequência gerando uma significativa quantidade de cinzas, que na maioria das vezes não possui destino adequado, desta

forma podemos concluir que esse problema causa grandes impactos negativos ao meio ambiente. Para entendermos melhor esse incômodo e ter uma visão quantitativa deste problema, podemos citar o município de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, que possui um número expressivo de cerâmicas, por volta de 100 cerâmicas instaladas que produziram, e em 2005, mais de 300 toneladas de cinzas por mês (Borlini *et al.*, 2005).

É importante frisar que as cinzas muitas vezes podem causar sérios riscos à saúde humana quando compostas de metais pesados, em decorrência da sua propagação pelo ar, aumentando o índice de contaminação e causando grande poluição (Lucena, 2007).

Uma possibilidade sustentável de tentar diminuir este impacto ambiental causado pelas cinzas seria sua incorporação em produtos cerâmicos argilosos.

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e métodos experimentais utilizados na presente dissertação de mestrado. A Figura 12 apresenta o fluxograma do procedimento experimental usado.

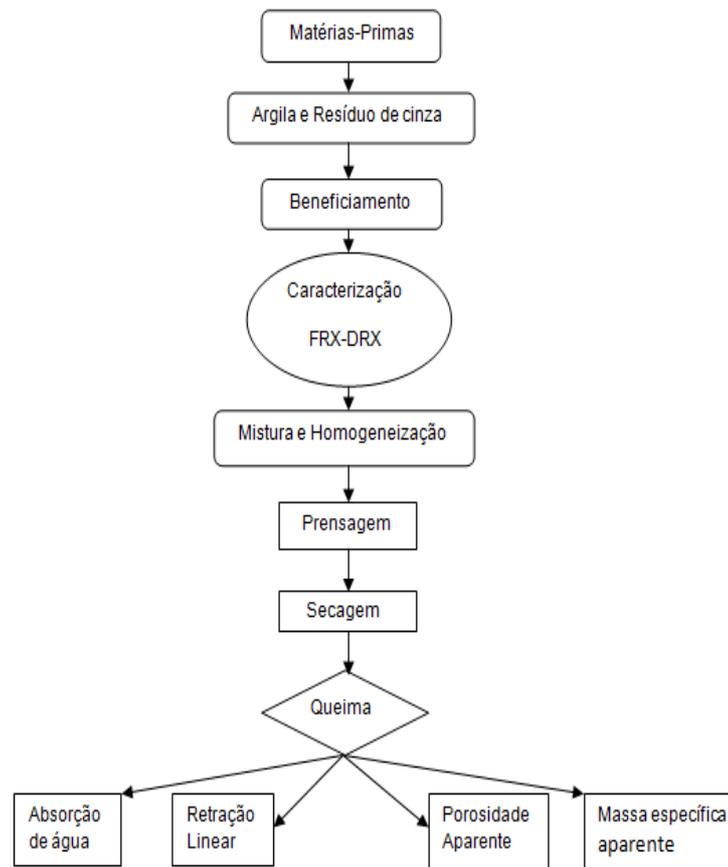


Figura 12 – Fluxograma do trabalho experimental.

3.1 Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho são argila vermelha plástica e resíduo de cinza de serragem de madeira.

A argila vermelha foi coletada numa empresa cerâmica no Pólo de Cerâmica Vermelha localizada no município de Campos dos Goytacazes – RJ, para fabricação de tijolos e blocos cerâmicos.

O resíduo de cinza de serragem de madeira utilizado foi também coletado numa empresa cerâmica da região de Campos dos Goytacazes-RJ, gerado no

processo de queima de cerâmica vermelha. O resíduo de cinza de serragem de madeira *in natura* em forma de pó foi submetido a processo de beneficiamento com o objetivo de eliminar as impurezas grosseiras indesejáveis.

As matérias-primas foram submetidas a processo de secagem a 110 °C e depois peneiradas para a fração < 42 mesh (355 µm ASTM), para a realização dos diversos ensaios de caracterização e processamento cerâmico.

3.2 Caracterizações do resíduo de cinza de serragem

O resíduo de cinza de serragem de madeira foi submetido à caracterização física, química e mineralógica utilizando uma série de técnicas de caracterização como: difração de raios-X, fluorescência de raios-X, análise granulométrica, análise morfológica e plasticidade.

3.2.1 Difração de raios-X

A análise mineralógica qualitativa da amostra de resíduo de cinza de serragem de madeira foi realizada por meio de análise por difração de raios-X em um difratômetro convencional marca Shimadzu, modelo XRD 7000, usando radiação monocromática de Cu-K_α a velocidade de 1,5° (2θ) por minuto. As fases cristalinas foram identificadas por comparação entre as intensidades e as posições dos picos de Bragg com aqueles das fichas padrão JCPDS-ICDD.

3.2.2 Composição química

A composição química do resíduo de cinza de serragem de madeira foi determinada por fluorescência de raiosX, num equipamento Shimadzu, modelo EDX 700. Os seguintes compostos foram determinados: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, MnO, CaO, MgO, K₂O e Na₂O. A perda ao fogo foi determinada de acordo com a expressão (Gomes, 1988):

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

Onde:

PF – perda ao fogo;

Ms – massa da amostra seca a 110 °C;

Mc – massa da amostra calcinada a 1000 °C por 2 horas.

3.2.3 Análise Granulométrica, Plasticidade e Morfologia

Análise granulométrica da amostra de resíduo de cinza de serragem de madeira foi obtida usando procedimentos descritos na norma ABNT NBR 7181 (ABNT, 1984), pelo processo combinado de peneiramento e sedimentação. Para fração granulométrica até > 200 mesh foi usada à técnica de peneiramento, enquanto que para a fração mais fina < 200 mesh foi usada à técnica de sedimentação. Os ensaios de plasticidade da amostra de resíduo foram feitos de acordo com as normas da ABNT NBR 6459-84 (Limite de Liquidez - LL) e NBR 7180-84 (Limite de plasticidade - LP).

O índice de plasticidade (IP) de Atterberg é dado pela expressão:

$$IP = LL - LP \quad (3.2)$$

Onde:

IP – índice de plasticidade;

LL – limite de liquidez; e

LP – limite de plasticidade.

A morfologia das partículas do resíduo de cinza de serragem de madeira foi observada via microscopia eletrônica de varredura, utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura, marca Shimadzu, modelo SSX-550, numa voltagem de operação de 15 kV, após cobertura das partículas com uma fina camada de platina.

3.3 Formulação e Preparação das Massas Cerâmicas

Neste trabalho as massas cerâmicas foram preparadas utilizando-se uma argila vermelha plástica tipicamente usada na fabricação de blocos cerâmicos e resíduo de cinza de serragem de madeira, cujas proporções são dadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição das massas cerâmicas (% em peso)

Formulação	Argila	Resíduo de cinza
MF0	100	0
MF5	95	5
MF10	90	10
MF15	85	15
MF20	80	20

As matérias-primas devidamente secas foram misturadas de acordo com as proporções dadas na Tabela 1, utilizando-se um misturador cilíndrico de laboratório durante 30 min. Em seguida as massas cerâmicas foram umedecidas com 7% em peso em água.

3.4 Preparação das Peças Cerâmicas

As peças de cerâmica vermelha foram preparadas por prensagem uniaxial em prensa hidráulica, em uma pressão de compactação em torno de 25 MPa. A matriz utilizada é de forma cilíndrica ($\varnothing = 25$ mm) e pistões de aço. Após a compactação as peças cerâmicas foram submetidas à secagem em estufa a 110 °C por 24 h.

3.5 Queima das Peças de Cerâmica Vermelha

A queima das peças cerâmicas preparadas foi feita usando um ciclo de queima lento (24 horas frio a frio), utilizando-se um forno elétrico tipo mufla. As temperaturas de patamar estudadas foram: 800, 900, 1000 e 1100 °C. Esta faixa de temperatura está incluída dentro da faixa de produção industrial de cerâmica vermelha. O ciclo de queima usado consiste numa taxa de aquecimento de cerca de 2 °C/min até a temperatura de patamar, permanência na temperatura de patamar por 2 h, e depois resfriamento por inércia desligando-se o forno.

3.6 Caracterização das Peças Cerâmicas Queimadas

3.6.1 Retração linear de queima

A retração linear foi determinada utilizando um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm para a medição dos diâmetros de acordo com a equação:

$$RL_q (\%) = \frac{D_s - D_q}{D_s} \times 100 \quad (3.3)$$

Onde:

RL_q – retração linear da peça cerâmica, em %;

D_s – diâmetro da peça cerâmica antes da queima, em mm;

D_q – diâmetro da peça cerâmica após queima, em mm.

3.6.2 Absorção de água

No ensaio de absorção de água as peças cerâmicas foram secas em estufa a 110 °C por 24 horas e depois pesadas. Em seguida foram colocados em recipientes com água e mantidos em água em ebulição por 2 horas. Após fervura, foi retirada a água superficial das peças com um pano úmido e novamente pesadas. O valor de absorção de água é obtido por meio da expressão:

$$AA (\%) = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (3.4)$$

AA – absorção de água, em %;

m_u – massa da peça cerâmica saturada com água, em g;

m_s – massa da peça cerâmica seca, em g

3.6.3 Massa específica aparente

A massa específica aparente (MEA) das peças cerâmicas após a queima foi determinada de acordo com a expressão:

$$MEA = \frac{M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad (3.5)$$

Onde:

MEA – massa específica aparente, em g/cm^3 ;

M_u – massa (g) das peças cerâmicas saturadas com água;

M_s – massa (g) das peças cerâmicas secas;

M_i – massa (g) da peça cerâmica imersa em água.

3.6.4 Porosidade aparente

A determinação da porosidade aparente (PA) das peças cerâmicas foi feita de acordo com a expressão dada por:

$$PA = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad (3.6)$$

Onde:

PA – porosidade aparente, em %;

M_u – massa (g) da peça cerâmica saturada com água;

M_s – massa (g) da peça cerâmicas seca; e

M_i – massa (g) da peça cerâmica imersa em água, medida pelo método da balança hidrostática.

3.6.5 Resistência à compressão diametral

Neste trabalho o ensaio de compressão diametral foi realizado numa máquina de ensaios universal, marca Instron, modelo 5582, com velocidade de carregamento de 0,5 mm/min. A resistência à compressão das peças queimadas foi obtida a partir da seguinte expressão:

$$R_{Cq} = \frac{2F}{\pi d t} \quad (3.7)$$

Onde:

R_{c_q} – resistência a compressão diametral, em MPa;

F – carga de ruptura, em N;

d – diâmetro da peça queimada, em mm;

t – altura da peça cilíndrica queimada, em mm.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados experimentais obtidos durante a realização do trabalho, com ênfase na caracterização do resíduo de serragem de madeira e influência dele nas propriedades tecnológicas das peças de cerâmica vermelha produzidas.

4.1 Caracterização do resíduo de cinza de serragem de madeira usado

A Tabela 2 apresenta os resultados da composição química da amostra de resíduo de cinza de serragem de madeira proveniente do polo ceramista da região de campos dos Goytacazes-RJ. Observa-se que o resíduo de cinza de serragem de madeira é composto principalmente por sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) e óxido de potássio (K_2O), com cerca de 79,47 % em peso. A perda ao fogo foi da ordem de 17,30 % em peso que pode estar relacionada à decomposição de compostos minerais presentes no resíduo e possível presença de matéria orgânica. Por outro lado, é fato conhecido que as argilas vermelhas da região de Campos dos Goytacazes são quimicamente compostas principalmente por sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3) (Souza *et al.*, 2002). Isto indica que a substituição parcial da argila vermelha plástica por resíduo de cinza de serragem de madeira tende a modificar a composição química global da massa argilosa. Mais especificamente, torna a massa argilosa mais rica em compostos fundentes (CaO , MgO e K_2O), que podem influenciar positivamente o comportamento de densificação e propriedades técnicas da massa argilosa para fabricação de cerâmica vermelha.

A Figura 13 apresenta o difratograma de raios X para a amostra do resíduo de cinza de serragem de madeira. Nota-se que do ponto de vista mineralógico o resíduo de cinza de serragem usado é composto principalmente pelas seguintes fases minerais: calcita (CaCO_3), quartzo (SiO_2), gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), montmorilonita ($(\text{Na,Ca})(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), goetita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), fosfato de cálcio, portlandita (CaOH_2) e sulfato de magnésio hidratado. Este resultado está de acordo com a composição química do resíduo (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição química do resíduo de cinza de serragem

Composto	% em Peso
CaO	40,77
MgO	10,79
SiO ₂	9,55
K ₂ O	7,35
Al ₂ O ₃	6,63
Fe ₂ O ₃	4,38
SO ₃	1,68
TiO ₂	0,83
MnO	0,72
Perda ao Fogo	17,30

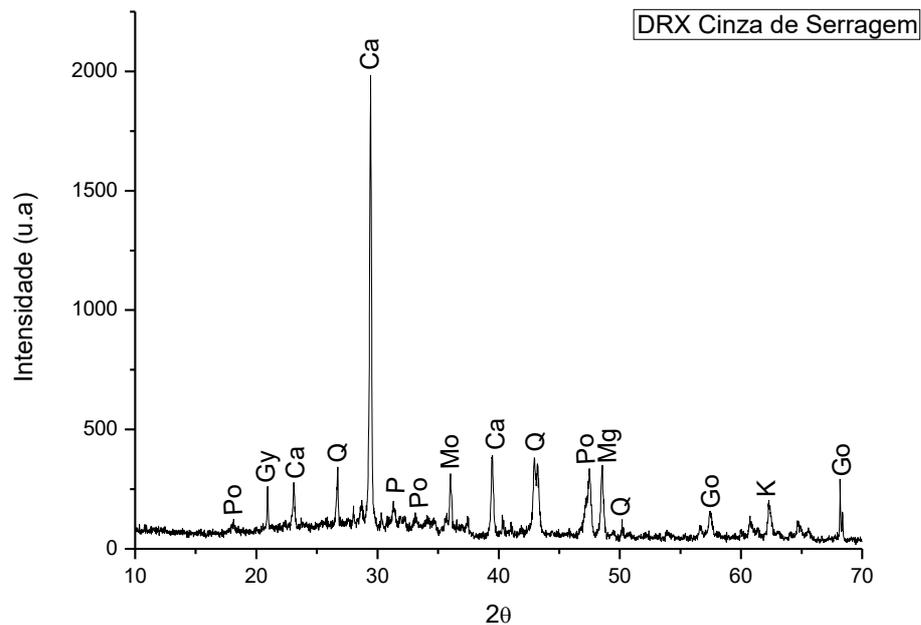


Figura 13 – Difratograma de raios X do resíduo de cinza de serragem de madeira: Q= Quartzo; Ca=Calcita; Gy=Gypsum; Mo=Montmorilonita; Go=Goetita; K=Caolinita; P=Fosfato de Cálcio; Po=Portlandite; Mg=Sulfato de magnésio hidratado.

A Tabela 3 apresenta os dados granulométricos para a amostra de resíduo de cinza de serragem de madeira usado. Observa-se que a amostra de resíduo apresenta uma larga distribuição de tamanho de partículas: 4,8 % de fração de argila

(< 2 μm), 12,2 % de silte ($2 \leq x < 63 \mu\text{m}$), 73,8 % de areia ($63 \leq x < 2000 \mu\text{m}$) e 9,2% de pedregulho (> 2 mm). Assim, a amostra de resíduo de cinza apresenta granulometria grosseira, quando comparada com argila vermelha plástica rica em caulinita (fração < 2 μm) (ABNT, ASTM, 2007, com base na escala Lúcio Pêrsio).

Tabela 3 – Composição granulométrica do resíduo de cinza

Fração	% em peso
< 2 μm (Argila)	4,8
$2 \leq x < 63 \mu\text{m}$ (silte)	12,2
$63 \leq x < 2000 \mu\text{m}$ (Areia)	73,8
> 2 mm (Pedregulho)	9,2

Do ponto de vista de plasticidade, foram feitas algumas tentativas para determinar o comportamento de plasticidade da amostra de resíduo de cinza de serragem de madeira. No entanto, os ensaios foram impraticáveis demonstrando que o resíduo de cinza de serragem de madeira usado neste trabalho pode ser considerado como sendo um material não plástico. Este resultado é importante uma vez que o resíduo de cinza de serragem de madeira pode ser usado também para o controle das propriedades plásticas de argilas vermelhas de alta plasticidade usada em cerâmica vermelha, melhorando os processos. Além disso, o resíduo pode influenciar as propriedades tecnológicas das massas argilosas para cerâmica vermelha trazendo alguns resultados positivos.

A Figura 14 apresenta os aspectos morfológicos das partículas do resíduo de cinza de serragem de madeira observados via microscopia eletrônica de varredura. Observa-se que o resíduo é composto predominantemente de partículas irregulares, com larga distribuição de tamanho de partícula. Isto está de acordo com os dados granulométricos apresentados na Tabela 3.

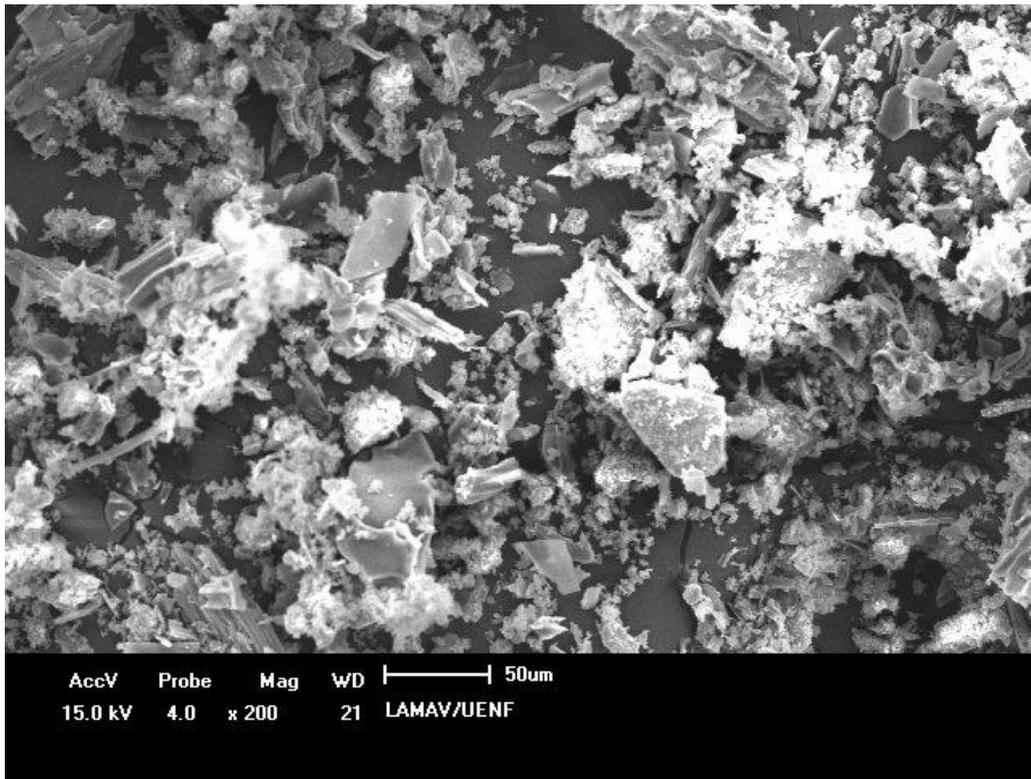


Figura 14 – Morfologia das partículas do resíduo de cinza de serragem

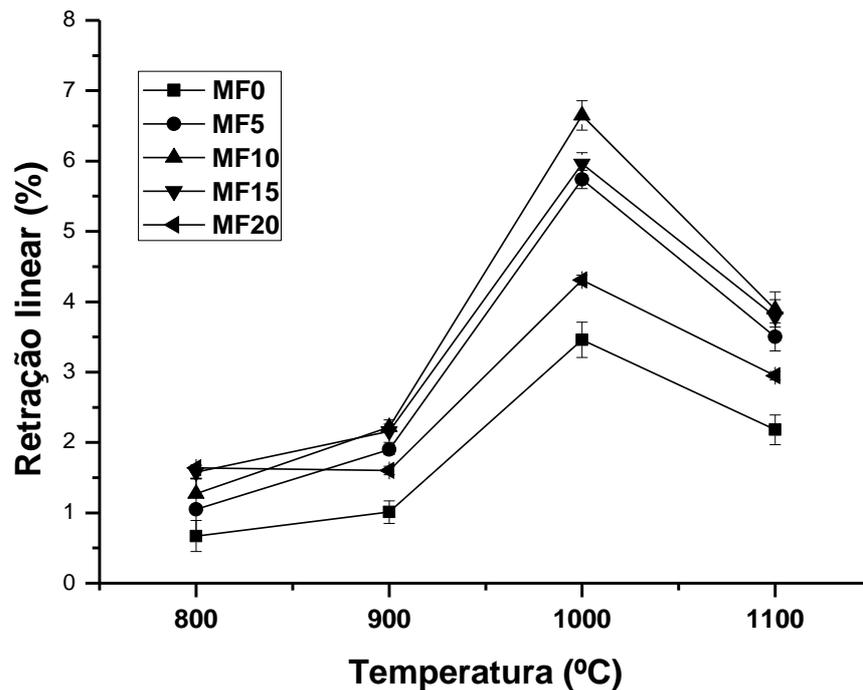
4.2 Avaliação das propriedades técnicas das peças queimadas

Neste trabalho a qualidade das peças de cerâmica vermelha produzidas foi avaliada em termos das seguintes propriedades tecnológicas em função da quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira e temperatura de queima: retração linear, massa específica aparente, absorção de água, porosidade aparente e resistência à compressão diametral.

Na Tabela 4 são apresentados os valores da retração linear das peças de cerâmica vermelha em função da quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira e temperatura de queima. Para melhor visualização do comportamento de queima das peças cerâmicas os dados experimentais são apresentados na Figura 15. Os resultados indicam que a retração linear de queima das peças de cerâmica vermelha é influenciada tanto pela temperatura de queima, quanto pela incorporação do resíduo de cinza de serragem de madeira utilizado.

Tabela 4 – Retração linear após queima das peças cerâmicas (%)

Formulação	800 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
MF0	0,67±0,52	1,01±0,16	3,46±0,25	2,18±0,21
MF5	1,05±0,63	1,90±0,07	5,74±0,13	3,50±0,30
MF10	1,27±0,44	2,22±0,04	6,65±0,21	3,89±0,45
MF15	1,58±0,09	2,16±0,16	5,96±0,16	3,79±0,34
MF20	1,64±0,04	1,60±0,06	4,31±0,07	2,95±0,06

**Figura 15 – Retração linear de queima das peças de cerâmica vermelha**

Como pode ser observado na Figura 15, a retração linear das peças de cerâmica vermelha aumenta com o aumento da temperatura de queima independentemente da quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira adicionada. Pode-se observar que até 900 °C a retração linear é relativamente baixa e está associada principalmente a fraca sinterização entre as partículas constituintes da massa argilosa. Por outro lado, acima de 900 °C ocorre aceleração do processo de sinterização resultando em maior valor de retração linear. Neste caso provavelmente o mecanismo de sinterização de fluxo viscoso com presença de fase líquida seja dominante, resultando em maior densificação da peça cerâmica.

Pode-se observar também na Figura 15 que o efeito da incorporação do resíduo de cinza de serragem de madeira é o de aumentar a retração linear das

peças cerâmicas queimadas. Este fato pode estar associado à composição química e mineralógica do resíduo de cinza, que aumenta a quantidade de compostos fundentes (CaO, MgO e K₂O) das massas argilosas preparadas. Deve-se ressaltar ainda que todos os valores de retração linear obtidos para as peças queimadas (0,67 a 6,65 %) são apropriados para fabricação de produtos de cerâmica vermelha para uso na construção civil.

Na Tabela 5 são apresentados os valores da massa específica aparente das peças de cerâmica vermelha em função da quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira e temperatura de queima. Para melhor visualização do comportamento de densificação das peças cerâmicas os dados experimentais são apresentados na Figura 16. De modo similar aquele observado para a retração linear de queima, a massa específica aparente das peças de cerâmica vermelha é influenciada tanto pela temperatura de queima, quanto pela incorporação do resíduo de cinza de serragem de madeira utilizado.

Tabela 5 – Massa específica aparente após queima das peças cerâmicas (g/cm³)

Formulação	800 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
MF0	1,84 +-0,04	1,99+-0,05	1,84+-0,05	2,00+-0,06
MF5	1,82+-0,04	1,88+-0,10	2,06+-0,11	2,00+-0,05
MF10	1,95+-0,07	1,88+-0,10	2,20+-0,08	2,12+-0,09
MF15	1,78+-0,08	1,85+-0,08	2,10+-0,06	2,03+-0,05
MF20	1,84+-0,04	1,80+-0,06	2,02+-0,08	1,97+-0,08

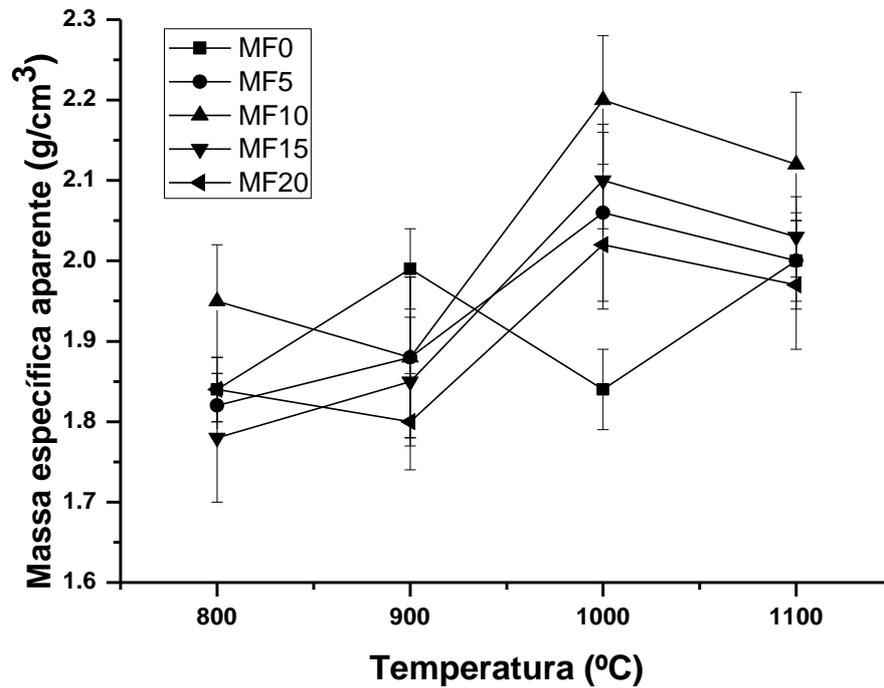


Figura 16 – Massa específica aparente das peças de cerâmica vermelha

Como esperado, o efeito da temperatura de queima foi o de promover maior densificação das peças de cerâmica vermelha produzidas principalmente acima de 900 °C devido à presença de fase líquida durante o processo de sinterização.

Observa-se também na Figura 16 que a incorporação do resíduo de cinza de serragem de madeira tende a influenciar o comportamento de densificação da massa argilosa pura. Em particular dois comportamentos distintos são observados abaixo e acima de 900 °C. Para temperaturas até 900 °C o efeito da incorporação do resíduo de cinza de serragem de madeira é o de diminuir a massa específica aparente das peças queimadas. Neste caso efeitos concorrentes de sinterização e perda de massa são concorrentes. De fato o resíduo de cinza de serragem de madeira apresenta alta perda de massa (17,30 % em peso – ver Tabela 1). Assim, a substituição parcial da argila plástica pelo resíduo de cinza de serragem de madeira tende a aumentar a perda das massas argilosas. Já para temperaturas acima de 900 °C tem-se somente o efeito da sinterização promovendo maior densificação da massa argilosa.

Na Tabela 6 são apresentados os valores de absorção de água das peças de cerâmica vermelha em função da quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira e temperatura de queima. Para melhor visualização do comportamento da porosidade aberta das peças cerâmicas os dados experimentais são apresentados na Figura 17 A absorção de água das peças de cerâmica vermelha é influenciada tanto pela temperatura de queima, quanto pela incorporação do resíduo de cinza de serragem de madeira utilizado.

Tabela 6 – Absorção de água após queima das peças cerâmicas (%)

Formulação	800 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
MF0	8,08+-2,37	10,24+-2,32	6,45+-2,44	9,36+-2,51
MF5	9,28+-1,42	9,73+-3,30	7,87+-4,97	7,50+-1,88
MF10	2,60+-2,26	6,63+-2,52	1,60+-0,12	2,90+-2,00
MF15	11,37+-2,34	9,65+-3,68	4,59+-3,21	4,40+-2,95
MF20	8,62+-1,03	11,35+-1,86	4,94+-3,43	6,73+-3,23

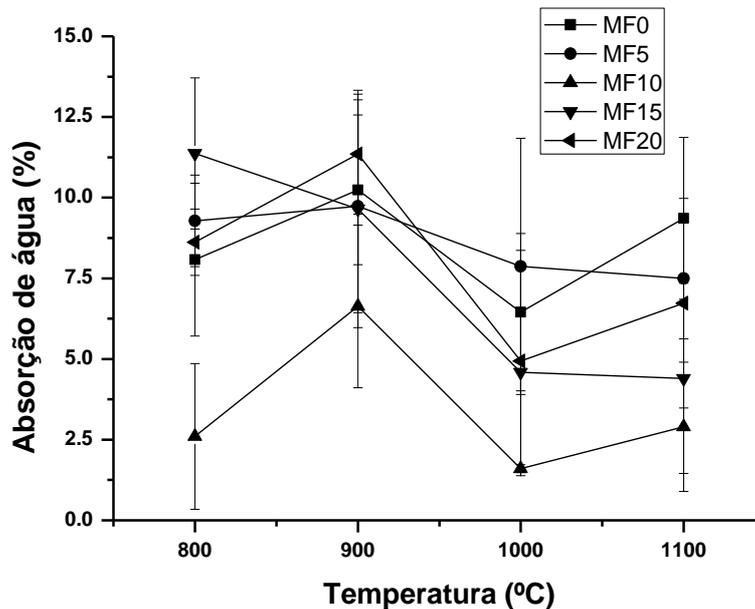


Figura 17 – Absorção de água das peças de cerâmica vermelha.

Pode-se constatar que a menor absorção de água foi obtida para a formulação MF10 (com 10 % em peso de resíduo) nas temperaturas de queima de 1000 °C e 1100 °C. Verifica-se que todas as formulações apresentaram um comportamento variável em função da temperatura de queima. Em geral tem-se uma

pequena variação entre 800 °C e 900 °C, exceto a formulação MF10. Em seguida uma diminuição da absorção de água nas temperaturas de 1000 °C e 1100 °C.

Constata-se que a incorporação do resíduo de cinza de serragem de madeira provoca dois efeitos distintos no comportamento da absorção de água. Para as temperaturas mais baixas (800 e 900 °C) os valores de absorção de água para as formulações estudadas são muito similares, exceto para a formulação MF10. Em 1000 e 1100 °C observa-se uma tendência de menor absorção de água para as formulações com maior quantidade de resíduo adicionada (MF10, MF15 e MF20), provavelmente devido a maior quantidade de óxidos fundentes presentes nestas formulações que promovem o fechamento da porosidade aberta. Isto está de acordo com o comportamento da massa específica aparente (Figura 17).

É importante destacar que as peças de cerâmica vermelha produzidas apresentaram valores de absorção de água apropriados para fabricação de produtos de cerâmica vermelha para construção civil tais como tijolos, blocos cerâmicos e telhas (< 20 %), independentemente da quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira adicionada.

Na Tabela 7 são apresentados os valores de porosidade aparente das peças de cerâmica vermelha em função da quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira e temperatura de queima. Para melhor visualização do comportamento da porosidade aparente das peças cerâmicas os dados experimentais são apresentados na Figura 18. A porosidade aparente das peças de cerâmica vermelha também é influenciada tanto pela temperatura de queima, quanto pela incorporação do resíduo de cinza de serragem de madeira utilizado.

Tabela 7 – Porosidade aparente após queima das peças cerâmicas (%)

Formulação	800°C	900°C	1000°C	1100°C
MF0	17,10+-5,24	21,87+-4,96	14,06+-5,17	19,76+-5,13
MF5	19,04+-2,82	20,11+-6,60	17,68+-1,23	16,03+-3,95
MF10	5,18+-4,47	13,34+-5,00	3,59+-0,28	6,23+-4,27
MF15	22,90+-4,38	19,76+-7,56	6,98+-1,79	9,32+-6,33
MF20	17,41+-2,00	23,04+-3,41	10,52+-7,27	14,16+-6,75

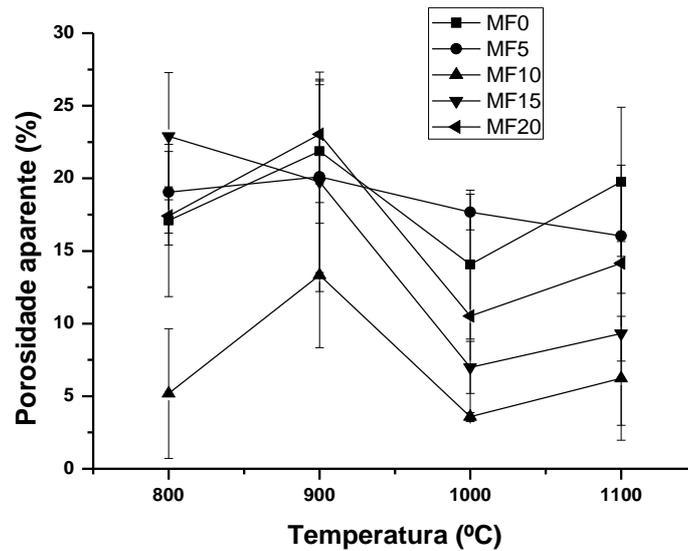


Figura 18 – Porosidade aparente das peças de cerâmica vermelha

Pode-se notar um comportamento oscilante da porosidade aparente parecido com o comportamento ocorrido na absorção de água, o que corrobora a porosidade aberta das peças cerâmicas. Chama a atenção à formulação MF10 em 1000 °C que apresenta o menor valor de porosidade aparente. Nas outras formulações tem-se um acréscimo ou decréscimo em função do aumento da temperatura de queima, mas em quase todas elas na temperatura de 1000 °C sofrem um decréscimo acentuado à medida que aumenta a quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira, exceto MF5 que sobre o decréscimo em 1100 °C.

Na Tabela 8 são apresentados os valores de resistência à compressão diametral das peças de cerâmica vermelha em função da quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira e temperatura de queima. Para melhor visualização do comportamento da resistência mecânica das peças cerâmicas os dados experimentais são apresentados na Figura 19. Como esperado, a resistência à compressão diametral das peças de cerâmica vermelha também é influenciada tanto pela temperatura de queima, quanto pela incorporação do resíduo de cinza de serragem de madeira utilizado.

Tabela 8 – Resistência à compressão diametral após queima das peças cerâmicas (MPa)

Formulação	800°C	900°C	1000°C	1100°
MF0	1,14±0,55	0,94±0,08	1,39±0,88	1,46±0,03
MF5	1,86±0,05	1,63±0,06	1,91±0,08	3,33±0,05
MF10	1,71±0,05	1,69±0,09	3,14±0,09	4,45±0,05
MF15	1,54±0,08	2,05±0,03	2,02±0,09	3,27±0,02
MF20	0,52±0,01	0,65±0,02	1,34±0,09	1,32±0,04

Observa-se que o efeito da temperatura de queima foi o de aumentar a resistência mecânica das peças de cerâmica vermelha, independentemente da quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira adicionada. Este comportamento está de acordo com a maior densificação das peças cerâmicas (Figura 19). Os resultados também mostram que concentração acima de 15 % em peso de resíduo de cinza de serragem de madeira influencia negativamente o comportamento da resistência mecânica das peças de cerâmica vermelha.

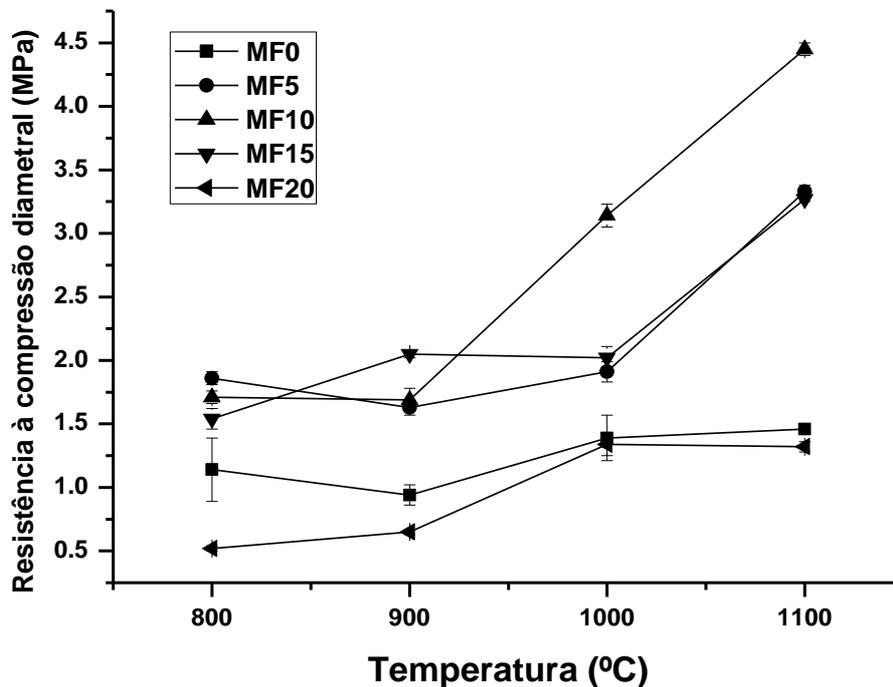


Figura 19 – Resistência à compressão diametral das peças de cerâmica vermelha

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Conclusões

- Os resultados mostraram que o objetivo principal do trabalho de dissertação de mestrado foi alcançado. Foi demonstrado que o resíduo de cinza de serragem de madeira utilizado pode ser usado como uma matéria-prima alternativa como substituto parcial de argila plástica para fabricação de produtos de cerâmica vermelha de alta qualidade.

- As propriedades tecnológicas das peças de cerâmica vermelha são influenciadas pela temperatura de queima e quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira em substituição parcial da argila plástica. Essas influências resultaram em uma boa absorção de água, uma retração linear pouco variante. Já a porosidade aparente, massa específica aparente, e resistência à compressão diametral, tiveram o comportamento um pouco mais variante devido aos métodos utilizados, porém sem comprometer os resultados das propriedades tecnológicas relacionadas.

- Finalmente, com base nos resultados obtidos neste trabalho, sugere-se que até 15 % em peso de resíduo de cinza de serragem de madeira seja adicionado à massa argilosa para fabricação de cerâmica vermelha de boa qualidade técnica.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Processo em escala industrial de peças de cerâmica vermelha (blocos cerâmicos e telhas) incorporada com resíduo de cinza de serragem de madeira.
- Caracterização microestrutural e de fases das peças de cerâmica vermelha contendo resíduo de cinza de serragem de madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Cerâmica (2015). *Informações Técnicas - Definição e Classificação*. Disponível em:
<<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=4>>. Acesso em: 10 maio 2015.
- Abceram*. (2013). Retrieved fevereiro 15, 2016, from abceram.org.br:
<http://abceram.org.br/wp-content/uploads/2016/01/fluxo1.jpg>
- ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. (2012). *Manuais – Bloco*. Rio de Janeiro, 2012.
- Abreu, S. F. (1973). *Recursos minerais do Brasil* (v. 1). São Paulo: Edgard Blücher.
- Arquitectandoufpb*. (13 de março de 2010). Disponível em:
<<http://arquitectandoufpb.blogspot.com.br>: <http://3.bp.blogspot.com/-75CoQNeYbhQ/T9gGQdpIhqI/AAAAAAAAAeM/SISFbDM4xaE/s1600/c14.jpg>>. Acesso em: 25 fev. 2016.
- Barba, A., Feliu, C. et al. (1997). *Materiais primas para la fabricación de soportes de baldosas cerâmicas*. Castellón: Instituto de Tecnologia Cerâmica – AICE, 290p.
- Belavistatijolos*. (2014). Disponível em:
<<http://www.belavistatijolos.com.br/processo.html>>. Acesso em: 12 fev. 2016.
- Blackburn, S., Lawson, T. A. (1992). Mullite-Alumina Composites by Extrusion. *Journal American Ceramic Society*, n. 75, v. 4, p. 953-57.
- Borlini, M. C., Mendonça, J. L. C. C., Vieira, C. M. F., Monteiro, S. N. (2006). *Influência da Temperatura de Sinterização nas Propriedades Físicas*.
- Borlini, M. C. et al. (2005). *Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha*. parte I: características da cinza, v. 51, n. 319, p. 192-196.
- Borgo, S. C. (2005). *Minimização e reciclagem de lodo galvânico e poeira de jateamento*. Dissertação (Mestrado) - Universidade federal do Paraná.
- Callister, W. D. J. (2012). *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Ceramicafelisbino*. (2015). Disponível em:
<<http://www.ceramicafelisbino.com.br/images/tijolos.png>>. Acesso em: 14 maio 2016.
- Cerâmica primavera*. (2016). Disponível em:
<<http://www.ceramicaprimavera.com.br/06.jpg>>. Acesso em: 13 fev. 2016.

- Callister, W. D. J. (2002). *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Cordeiro, P. (1993). Moldes de feira, fatores de funcionamento acerto e afinação Parte I, *Cerâmicas*, n. 17, p. 81- 84.
- Costa, F. B., Santos, G. T. A., Souza, A. E., Alves, N. V. J., Lima de Sá, A. W., Teixeira, S. R. (2006). *Influência da incorporação de pó de vidro de vasilhame descartável nas propriedades físicas de massa cerâmica para produção de telhas romana*. CD-ROM dos Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica – Cerâmica Vermelha, Blumenau, SC, Brasil.
- Cruz, F. J. R. (2012). *Utilização da cinza de aveloz de fornos cerâmicos para a produção de tijolos e telhas*. 2012.
- de Souza Ramos, I.; da Glória Alves, M., Alexandre, J. *Diagnóstico do Polo Cerâmico de Campos dos Goytacazes-RJ*.
- Dutra, R. P. S. (2007). *Efeito da velocidade de aquecimento nas propriedades de produtos da cerâmica estrutural*. 136f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte.
- Ebah. (2013). Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAA9XUAF-13.jpg>>. Acesso em: 23 abr. 2016.
- Equipedeobra. (2012). Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/48/blocos-ceramicos-processo-de-producao-de-blocos-ceramicos-e-259926-1.aspx>>. Acesso em: 5 fev. 2016.
- Facincani, E. (1993). *Tecnología Cerámica - Los Ladrillos*, Faenza Editrice Iberica S.L., Castellón.
- Fernandes Terra. (2009). Disponível em: <<http://www.fernandesterra.com.br/http://fernandesterra.com.br/tag/extracao-de-argila/>>. Acesso em: 18 fev. 2016.
- Gaidzinski, R., Dualibi, F.H. J., Tavares, L. M. M. (2005). Sazoneamento e homogeneização de argilas em pilhas. *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 5/6, p. 19-22.
- Kniess, C. T., Prates, P. B., Milanez, K. W., Riella, H. G., Kuhnen, N. C. (2006). *Influência da adição de cinzas pesadas de carvão na resistência mecânica à flexão de revestimentos cerâmicos*. CD-ROM dos Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica – Revestimento Cerâmico, Blumenau, SC, Brasil

- Lucena, M. M. (2007). *Efeito da introdução de resíduos de cinza de forno cerâmico em massa para cerâmica estrutural*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Munhoz JR, A. H. (2006). Estudo da reciclagem de um resíduo sólido de uma indústria têxtil em cerâmica vermelha. CD-ROM dos Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica – Meio Ambiente, Blumenau, SC, Brasil.
- Medeiros, E. N. M. (2011). Uso da técnica de planejamento experimental para otimização de massa cerâmica com a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz, cinza de lenha e lodo de ETA. Programa de Pós-Graduação em Estruturas e construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília – UnB. Tese de Doutorado em estruturas e construção civil.
- Dondi, M., Marsigli, M., Fabbri, B. (1997a). Recycling of Industrial and Urban waste in Brink Production- A Review: *Tile & Brink Int.*, v. 13, n. 3, p. 218-225.
- Dondi, M., Marsigli, M., Fabbri, B. (1997b). Recycling of Industrial and Urban waste in Brink Production- A Review (Part 2): *Tile & Brink Int.*, v. 13, n. 4, p. 302-308.
- Motta, J. F. M., Zanardo, A., Cabral Junior, M. (2001). As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 2, p. 28-39.
- mma.gov.br*. (2014). Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=429>>. Acesso em: 8 fev. 2016.
- Findes. *Diagnóstico Setorial da indústria de cerâmica vermelha e olarias do Espírito Santo*. 2009. Disponível em:
<[http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/75DBDE7F84BCE729832575F3004CCD00/\\$File/Diagn%C3%B3stico%20de%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha%20do%20ES-2009.pdf](http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/75DBDE7F84BCE729832575F3004CCD00/$File/Diagn%C3%B3stico%20de%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha%20do%20ES-2009.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2016.
- Peçanha Jr., L. A., Monteiro, S. N., Vieira, C. M. F. (2005). *Avaliação da mistura de argilas de campos dos Goytacazes utilizada em cerâmicas vermelhas*. In: 49º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, São Pedro.
- Petrucci, E. G. *Materiais de construção*. Editora Globo. São Paulo. 2007.
- Pinheiro, R. M. I., Vieira, C. M. F. I., Rodriguez, R. S. I., Monteiro, S. N. (2008). Reciclagem de resíduo proveniente da produção de papel em cerâmica Vermelha. *Revista Matéria*, v. 13, n. 1, p. 220-227.
- Paranhos, R. J. S. (2010). Aproveitamento de resíduos de cinza da cana de açúcar em massas cerâmicas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Natal. 2010.

- Pereira, S. I. (2010). *Estudo da incorporação de cinza proveniente da queima de lenha de eucalipto na formulação de massa de uma indústria cerâmica estrutural do sul-catarinense*. 13 f. TCC Artigo (Graduação em Tecnologia e Cerâmica) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.
- Ramos, I. S., Alexandre, J., Alves, M. G.; Vogel, V., Gantos, M. (2008). The red ceramic industry in Campos dos Goitacazes and the social inclusion of artisans from Baixada Campista through the Caminhos de Barro project. *Cerâmica*, v. 54, n. 331, p. 280-286.
- Reed, J. S. (1995). *Principles of ceramic processing*. 2. ed. New York: John Willey Sons.
- Ribeiro, M. J., Ferreira, A. A. L., Labrincha, J. A. (2003). Aspectos Fundamentais sobre a extrusão de massas de cerâmicas vermelhas. *Cerâmica Industrial*, v. 8, n. 1, p. 37-42.
- Rodrigues, G.V., Marchetto, O. *Análises Térmicas*. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- Santos, P. S. (1975). *Tecnologia de Argilas, Aplicada às Argilas Brasileiras*. São Paulo, SP: USP, v.1-2, p.45-55, p. 242-273, p. 393-405, p. 468-500.
- Santos, P. S. (1989). *Ciência e Tecnologia de Argilas*. Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 408 p.
- Santos, G. M. (2001). *Estudo do comportamento térmico de um forno túnel aplicado à indústria de cerâmica vermelha*. Dissertação (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Santos Jr., E. L.; Intorne, S. C.; Dias, D. P.; Vieira, C. M. F.; Monteiro, S. N. (2005). Incorporação de escória de Aciaria em cerâmica Vermelha, CD-ROM dos Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica – Cerâmica Vermelha, São Pedro, SP, Brasil.
- 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/UFSM*, v. 5, n. 5, p. 904-916.
- Soares, J. M. D., Quintana, L. M. H., Gonçalves, M. M., Giacomini, G. (2006). Aproveitamento de resíduo de areia de fundição em massa cerâmica. CD-ROM dos Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica – Cerâmica Vermelha, Blumenau, SC, Brasil.
- Souza, G. P., Sánchez, R., Holanda, J. N. F. (2002). Characteristics and physical-mechanical properties of fired kaolinitic materials. *Cerâmica*, v. 48, n. 306, p. 102-107.

- Souza, A. E., Teixeira, S. R., Santos, G. T. A., Costa, F. B., Longo, E. (2011). Reuse of Sugarcane Bagasse Ash (SCBA) to produce ceramic materials. *Journal of Environmental Management*, v. 92, p. 2774-2780.
- Scielo. (2002). Disponível em: <<http://www.scielo.br/img/revistas/ce/v48n308/14893f4.gif>>. Acesso em: 4 jul. 2016.
- Scielo. (2007). Disponível em: <<http://www.scielo.br/img/revistas/qn/v30n5/a42fig01.gif>>. Acesso em: 8 jul. 2016.
- Whatmat. (2014). Disponível em: <http://www.whatmat.pt/wp-content/uploads/2014/07/Ceramica_Tijolos_Dados_Fieiras_a.jpg>. Acesso em: 6 fev. 2016.
- Ueno, O. K.; Leite, V. M. B. (2006). *Estudo de viabilidade técnica de incorporação do iodo proveniente do processo de tratamento de água para abastecimento na confecção de produtos de cerâmica vermelha*. CD-ROM dos Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica – Cerâmica Vermelha, Blumenau, SC, Brasil.
- Vieira, C. M. F. *et al.* (2000). Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro, *Cerâmica Industrial*, v. 46, n.297, jan./mar. 2000.
- Vieira, C. M. F., Pinheiro, R. M. (2011). *Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha* *Cerâmica*. v. 57, p. 319-323.
- Vieira, C. M. F., Monteiro, S. N. (2009). Incorporation of solid wastes in red ceramics – an updated review. *Revista Matéria*, v. 14, n. 3, p. 881-905.
- 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., Monteiro, S. N. (2006). Cerâmica Argilosa Incorporada com Resíduo Oleoso Proveniente do Setor Petrolífero. *Revista Matéria*, v. 11, n. 3, p. 217-222. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10804>>. Acesso em: 10 maio 2016.
- Xavier, G. C.; Saboya, F.; Maia, P.; Alexandre, J. (2006). *Estudo da Alteração de Peças Cerâmicas Incorporadas com Resíduos de Granito através do Ensaio de Ciclos de Umidade*. CD-ROM dos Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica – Cerâmica Vermelha, Blumenau, SC, Brasil.