

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

DANIELE GIOPPO BETINI

INOVAÇÃO NA TECNOLOGIA DE PRODUTOS DE  
CERÂMICA VERMELHA COM USO DE CHAMOTE EM SÃO  
MIGUEL DO GUAMÁ

BELÉM  
2007

DANIELE GIOPPO BETINI

INOVAÇÃO NA TECNOLOGIA DE PRODUTOS DE  
CERÂMICA VERMELHA COM USO DE CHAMOTE EM SÃO  
MIGUEL DO GUAMÁ

Dissertação apresentada para obtenção do grau  
de Mestre em Engenharia Civil do Instituto de  
Tecnologia da Universidade Federal do Pará.  
Área de concentração: Construção Civil  
Orientador: Dr. Jorge de Araújo Ichihara  
Co-Orientador: Bernardo Borges Pompeu Neto

BELÉM  
2007

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) –**  
Biblioteca Central/ UFPA, Belém-PA

---

Betini, Daniele Gioppo.

Inovação na tecnologia de produtos de cerâmica vermelha com uso de chamote em São Miguel do Guamá / Daniele Gioppo Betini; orientador Jorge de Araújo Ichihara. — 2007

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2007.

1. Cerâmica (Tecnologia) – São Miguel do Guamá (PA). 2. Cerâmica – Indústria – São Miguel do Guamá (PA). 3. Chamote. I. Título.

CDD - 22. ed. 666.398115

---



---

---

## INOVAÇÃO NA TECNOLOGIA DE PRODUTOS DE CERÂMICA VERMELHA COM USO DE CHAMOTE EM SÃO MIGUEL DO GUAMÁ.

AUTORA:

**DANIELE GIOPPO BETINI**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADA EM:     /     /

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. JORGE DE ARAÚJO ICHIHARA  
Orientador

---

Prof. Dr. PETRÔNIO MEDEIROS LIMA  
Membro

---

Prof. Dr. MARCOS XIMENES PONTE  
Membro

---

Prof. Dr. BERNARDO BORGES POMPEU NETO  
Membro

Visto:

---

Prof. Dr. ALCEBÍADES NEGRÃO MACÊDO  
Coordenador do PPGEC / IT / UFPA

---

---

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	x
<b>LISTA DE FOTOS</b> .....	xi
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	xiii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xiv
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	xv
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Importância do Tema .....	3
1.2 Objetivo geral .....	4
1.3 Objetivos específicos .....	5
1.4 Estrutura .....	5
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	7
2.1 Histórico da cerâmica .....	7
2.2 Cerâmica no Brasil e no Estado do Pará .....	11
2.3 Constituição mineralógica das argilas .....	15
2.3.1 Argila .....	14
2.3.2 Origem dos argilominerais .....	17
2.3.3 Estrutura cristalina .....	18
2.3.4 Composição química e mineralógica .....	18
a) Caulinita .....	18
b) Montmorilonita ou Esmectita .....	19
c) Ilitas .....	19
d) Compostos de ferro .....	19
e) Carbonatos .....	20
f) Micas .....	20
g) Feldspatos .....	20
h) Quartzo .....	20
i) Matéria orgânica .....	20
j) Sais solúveis .....	21
2.4 Tipos de cerâmicas .....	21
2.4.1 Cerâmica branca .....	21
2.4.2 Cerâmica de revestimentos .....	22
2.4.3 Cerâmica vermelha .....	22
2.4.4 Materiais refratários .....	23
a) Isolantes térmicos .....	23
b) Cerâmica de alta tecnologia/cerâmica avançada .....	24
2.5 Argilas para cerâmica vermelha ou estrutural .....	24
2.5.1 Classificação .....	24

a) Argilas de várzea .....	24
b) Argilas de morro .....	25
c) Argilas do tipo taguá .....	25
d) Argilas gordas ou plásticas .....	25
e) Argilas magras ou não plásticas .....	26
2.6 Processo produtivo de cerâmica vermelha .....	26
2.6.1 Extração da matéria-prima .....	27
2.6.2 Sazonamento .....	28
2.6.3 Beneficiamento .....	28
a) Moinho de Bolas .....	29
b) Moinho de Rolos .....	29
c) Moinho de Martelos .....	29
d) Moinho Corredor de Borda .....	29
2.6.4 Dosagem e alimentação .....	29
2.6.5 Moldagem .....	30
2.6.6 Secagem .....	31
- Secagem natural .....	31
- Secagem por ar quente-úmido .....	32
- Secadores de túnel .....	32
- Secagem por radiação infravermelha .....	32
a) Secador Vertical .....	32
b) Secador Horizontal ou Túnel .....	32
2.6.7 Queima .....	33
a) Fornos intermitentes ou periódicos .....	34
b) Fornos contínuos .....	34
2.6.8 Expedição .....	36
2.7 Chamote/Resíduos .....	37
2.7.1 Reciclagem .....	38
a) Recuperação .....	39
b) Valorização .....	39
c) Valorização energética .....	39
d) Reciclagem .....	39
e) Reemprego .....	39
f) Reutilização .....	39
2.7.2 Parâmetros dos resíduos .....	41
a) Parâmetros estruturais .....	41
b) Parâmetros geométricos .....	41
c) Parâmetros ambientais .....	41
d) Outros parâmetros .....	41
2.7.3 Experiências com adição de resíduos .....	42
<b>3 METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS</b> ....	46
3.1 Introdução .....	46
3.2 Processo de produção .....	47
3.3 Coleta das amostras de argilas .....	58
3.4 Preparação das amostras argila .....	60
a) Secagem .....	60
b) Destorroamento .....	60
c) Peneiramento .....	60
d) Britagem .....	60

e) Quarteamento .....	60
f) Secagem .....	60
3.4.1 Preparação da Chamote .....	61
a) Separação .....	61
b) Moagem .....	61
c) Secagem .....	61
3.5 Ensaio cerâmicos .....	62
3.5.1 Preparação das Amostras .....	62
3.5.2 Moldagem de corpos de prova .....	63
a) Moldagem dos corpos de prova por extrusão .....	63
b) Secagem .....	64
c) Queima .....	65
d) Ensaio cerâmicos .....	66
e) Ensaio após queima sob as diferentes temperaturas: .....	66
- Porosidade aparente .....	67
- Umidade de conformação .....	68
- Retração linear de secagem .....	69
- Densidade .....	69
- Tensão de ruptura a flexão .....	70
- Perda ao fogo .....	71
3.6 Análise química .....	72
3.7 Absorção Atômica .....	72
3.8 Difração de raios-X .....	73
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>74</b>
4.1 Perdas da Produção .....	75
4.2 Análise Granulométrica .....	77
4.3 Análise Física .....	80
4.3.1 Absorção e Porosidade .....	80
4.3.2 Densidade .....	80
4.3.3 Retração de secagem e retração após queima .....	83
- Retração de secagem .....	83
- Retração após queima .....	83
4.3.4 Resistência à flexão após queima .....	85
4.4 Cor de queima .....	86
4.5 Análise química .....	87
4.6 Difração de raios-X .....	89
4.6.1 Preparação de Amostras – Método do Pó (difração de raio-x) ..	90
4.6.2 Resultados de difração .....	91
4.7 Inovação Tecnológica .....	93
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>98</b>
5.1. Sugestões para trabalhos futuros .....	101
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>111</b>

Para minha família  
Alegria do meu viver



## AGRADECIMENTOS

A Deus que me iluminou, no alcance do meu objetivo;

Ao meu esposo Roberto, companheiro de todos os momentos e parceiro das horas difíceis, pelo incentivo, insistência, carinho, paciência e compreensão, pois sem isso, esse projeto não teria sido finalizado;

A minha filha e paixão Beatriz; pela paciência das horas ausentes e pelo amor

A minha Mãe e Pai, que sempre me apoiaram em todas as decisões o meu eterno agradecimento, pelo amor incondicional e dedicação plena;

Aos professores Jorge de Araujo Ichihara e Bernardo Borges Pompeu Neto, pelo apoio e incentivo no desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores, Jose Antônio, Rômulo S Angêlica, Antonio Vaquera Vargas, Natalino Valente M. Siqueira, por permitir a utilização dos laboratórios;

A todos do departamento de pós-graduação da Engenharia Civil em especial ao coordenador e professor Alcebíades Negrão e a secretária Cleide Maués;

Aos departamentos de Engenharia Química, laboratórios de cerâmica, departamento de Geociências, Laboratório de Análises Química, Difração de Raios-X e Absorção Atômica;

Aos técnicos de laboratório de construção civil, laboratório de cerâmica, química, difração de raios-X, absorção atômica da Universidade Federal do Pará.

Aos estagiários de cada laboratório que ajudaram no desenvolvimento dos testes. E aos amigos Walter, Telma e Thaís pela força no término deste trabalho.

À indústria Cerâmica Cecal; e o seu proprietário Sr. Vandic, pela sua presteza e colaboração para que este trabalho fosse realizado.

A CAPES pelo apoio financeiro de bolsa de mestrado;

Aos meus amigos do curso de pós-graduação em Engenharia Civil.

A todos que, de uma maneira ou outra, contribuíram para que fosse possível a conclusão desse trabalho.

## RESUMO

Este trabalho estuda o reaproveitamento de chamote no processo produtivo da olaria Cecal em São Miguel do Guamá, no Estado do Pará.

Primeiramente foi feito um estudo do processo de produção dos tijolos fabricados e foram analisadas as perdas durante o processo industrial. A autora sugere reciclar as perdas adicionando à massa cerâmica a chamote. Foram estudadas quatro tipos de misturas. A primeira mistura foi constituída de: 70% argila de várzea + 30% chamote. A segunda mistura foi constituída de: 70% argila várzea + 20% chamote + 10% taguá. Na terceira mistura tivemos a porcentagem de 70% argila várzea + 10% chamote + 20% taguá. Finalmente a quarta mistura foi formada por: 70% argila várzea + 30% taguá. Foram realizados os testes físicos-mecânicos, como, absorção de água, porosidade aparente, retração de secagem a 105°C, retração de secagem após a queima nas temperaturas de 950°C, 1000°C e 1050°C, tensão de ruptura à flexão, análise química, absorção atômica e difração de raio-x.

Os testes demonstraram que a massa cerâmica contendo chamote é uma matéria prima superior a massa cerâmica sem chamote. Provamos também que a massa cerâmica mais chamote pode ser utilizada para gerar produtos de maior valor agregado, podendo reciclar suas perdas produzindo placas cerâmicas decorativas de revestimento.

Portanto a tese é uma proposta inovadora no sentido de dar respostas que suportem uma sustentabilidade ambiental e social nos processos produtivos de olarias na Região Norte.

Palavras-chaves: Reciclagem de chamote, Inovação Tecnológica na Produção de Cerâmica Vermelha, município de São Miguel do Pará no Estado do Pará.

## ABSTRACT

This work studies the chamote recycling in the productive process of the brickwork Cecal in São Miguel do Guamá, in the State of Pará.

Firstly it was made a study of the production process of the bricks manufacture and the losses were analyzed during the industrial process. The author suggests to recycle the losses by adding the chamote to the ceramic mass. It was studied four types of mixtures. The first mixture was constituted of: 70% várzea + 30% chamote. The second mixture was constituted of: 70% varzea + 20% chamote + 10% taguá. In the third mixture we had the percentage of 70% varzea + 10% chamote + 20% taguá. Finally the fourth mixture was formed for: 70% varzea + 30% taguá. The tests physical-mechanics were accomplished, as, absorption of water, apparent porosity, drying retraction to 105°C, drying retraction after burn them in the temperatures of 950°C, 1000°C and 1050°C, rupture tension to the flexing, chemical analysis, atomic absorption and diffraction of x-ray.

The tests have demonstrated that the ceramic mass containing chamote is superior than the ceramic mass without chamote. We have also proved that the ceramic mass with chamote can be used to generate products with aggregated value. Also this ceramic mass can recycle de losses by using chamote and it can be used to produce ornamental ceramic plates of covering.

Therefore this master thesis is an innovative proposal in the sense of giving answers that support an environmental and social sustainability in the productive processes of brickworks in the North Area of Brazil.

Key-word: Recycling of Chamote, Technological Innovation in the production of red ceramic, in the municipal district of São Miguel do Guamá- Pará state.

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 01</b> - Produção de materiais cerâmicos no Brasil .....	12
<b>Tabela 02</b> - Distribuição do Parque Industrial de cerâmica Vermelha do Pará .....	14
<b>Tabela 03</b> - Classifica os diversos tipos de partículas que podem estar presentes na fração argila dos solos.....	16
<b>Tabela 04</b> - Segmentos do setor de cerâmicas brancas .....	22
<b>Tabela 05</b> - Esquematização dos processos de aproveitamento de resíduos .....	41
<b>Tabela 06</b> - Controle de temperatura .....	58
<b>Tabela 07</b> - Granulometria das amostras de argila do município de São Miguel do Guamá.....	79
<b>Tabela 08</b> - Composição mineralógica das amostras de argila do município de São Miguel do Guamá.....	79
<b>Tabela 09</b> - Elementos químicos principais.....	87
<b>Tabela 10</b> - Elementos químicos obtidos pela absorção atômica .....	88
<b>Tabela 11</b> - Ponto de fusão dos óxidos cerâmicos .....	89
<b>Tabela 12</b> - Amostra com 30%Chamote e queima a T 1050°C .....	91
<b>Tabela 13</b> - Amostra com 20%Chamote e queima a T 1000°C.....	92
<b>Tabela 14</b> - Amostra com 10%Chamote e queima a T 1000°C.....	92
<b>Tabela 15</b> - Amostra com 10%Chamote e queima a T 1050°C.....	92
<b>Tabela 16</b> - Amostra sem Chamote e queima a T 1000°C.....	92
<b>Tabela 17</b> - Absorção de água (ISO 13006).....	94
<b>Tabela 18</b> - Comparação de absorção de água e tensão de resistência a flexão.....	95

## LISTA DE FOTOS

Foto 01 - Preparação da massa de argila .....	50
Foto 02 - Caixão alimentador .....	51
Foto 03 - Misturador MTR-4 .....	51
Foto 04 – Laminador .....	52
Foto 05 – Maromba .....	53
Foto 06 - Corte automático com arames .....	54
Foto 07 - Contador automático e esteira para encaminhamento aos <i>pallets</i> .....	55
Foto 08 - Estufas/secadoras .....	55
Foto 09 - Entrada do forno, e abastecimento da boquilha com serragem ...	56
Foto 10 - Painel de indicação da temperatura .....	56
Foto 11 - Local de coleta de argila.....	59
Foto 12 - Preparação da argila.....	60
Foto 13 - Secagem da argila de várzea e de taguá no Laboratório Tecnológico da UFPA.....	60
Foto 14 - Material em estufa para secagem.....	61
Foto 15 - Material para secagem em estufa.....	62
Foto 16 - Corpo de prova depois de extrusado.....	63
Foto 17 - Massa cerâmica saindo da extrusora.....	64
Foto 18 - Corpos de provas colocados na estufa para secagem a 105°C.....	64
Foto 19 - Corpos de provas antes da queima.....	65
Foto 20 - Corpos de prova após resfriamento dentro do forno.....	66
Foto 21 - Corpos de prova imersos.....	67
Foto 22 - Medindo o peso imerso.....	68

Foto 23 - Prensa para teste de tensão de ruptura a flexão. Laboratório de Engenharia Química UFPA (2007).....	71
Foto 24 – Preparação da amostra .....	90
Foto 25 – Preparação da amostra .....	90

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 01 - Controle de temperatura em um dia de queima .....	57
Gráfico 02 - Perdas após a queima e transporte até estoque .....	76
Gráfico 03 - Levantamento de perdas após queima na Indústria Cecal .....	76
Gráfico 04 - Porosidade aparente .....	81
Gráfico 05 - Absorção de água .....	82
Gráfico 06 - Densidade aparente .....	83
Gráfico 07 - Retração de secagem .....	84
Gráfico 08 - Retração após queima .....	85
Gráfico 09 - Tensão de ruptura a flexão .....	86
Gráfico 10 - Resultado das amostras de difração 3D .....	91
Gráfico 11 - Análise da difração de raios-X .....	93

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 01</b> - Processo de fabricação da cerâmica vermelha .....	27
<b>Figura 02</b> - Forno intermitente de chama invertida .....	35
<b>Figura 03</b> - Esquema de funcionamento de um forno contínuo .....	35
<b>Figura 04</b> - Esquema de um forno Hoffmann .....	36
<b>Figura 05</b> - Esquematização dos processos de aproveitamento de Resíduos .....	40
<b>Figura 06</b> - Fluxograma do processo de fabricação da cerâmica Cecal de São Miguel do Guamá .....	48
<b>Figura 07</b> - Mapa de extração de argila de São Miguel do Guamá .....	49
<b>Figura 08</b> - Modelo de ruptura a flexão .....	70
<b>Figura 09</b> - <i>Road Research Laboratory</i> ....	78



**LISTA DE SIGLAS**

ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica.
DNPM	Departamento Nacional de Pesquisa Mineralógica.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IPT	Instituto de Pesquisa e Tecnologia.
NBR	Normas Brasileiras.
PIB	Produto Interno Bruto.
UFPA	Universidade Federal do Pará.

## 1 INTRODUÇÃO

O setor industrial da cerâmica apresenta grande variedade de produtos e processos produtivos em níveis distintos de produção, de qualidade dos produtos e grau de mecanização. O setor pode ser dividido nos seguintes segmentos: cerâmica vermelha ou estrutural, materiais de revestimento, materiais refratários, louça sanitária, louças e porcelanas de mesa, isoladores elétricos de porcelana, cerâmica artística (utilitária e decorativa), filtros cerâmicos de água (uso doméstico), cerâmica técnica e isolantes térmicos. As fábricas brasileiras de cerâmica vermelha localizam-se em regiões específicas devido à combinação de diversos fatores como, matéria-prima, disponibilidade de energia, transporte e mercado consumidor.

O Brasil dispõe de importantes jazidas de minerais industriais de uso cerâmico, cuja produção está concentrada principalmente nas regiões sudeste e sul, onde estão localizados os maiores pólos cerâmicos do país. No entanto, as regiões norte e nordeste apresentam grande desenvolvimento, em razão da instalação de diversas fábricas e do significativo crescimento econômico, aumentando a demanda de materiais cerâmicos, principalmente dos segmentos ligados à construção civil.

A indústria cerâmica desempenha importante papel na economia do país, com participação estimada em 1% no Produto Interno Bruto. O Brasil ocupa a quarta posição de produtor mundial de revestimento cerâmico, após a China, Itália e Espanha (ANICER, 2005).

No norte do Brasil destaca-se o município de São Miguel do Guamá como um dos maiores pólos oleiros do Estado do Pará. Segundo o sindicato nesse município encontram-se 33 olarias, as quais produzem em média 9.900.000 peças/ mês entre tijolos e telhas, gerando em média 1.600 empregos diretos e cerca de 5.000 empregos indiretos.

Levando-se em conta que no Brasil as fábricas de cerâmica vermelha, encontram-se em um estágio diferenciado de outros segmentos industriais, por incrementar lentamente à inovação tecnológica e desenvolvimento organizacional. Existe portanto, necessidade de modernização em suas técnicas de produção e gestão. Hoje os padrões de qualidade e produtividade estão aquém de grande parte dos outros setores industriais.

O pólo oleiro de São Miguel do Guamá, depara-se com uma necessidade de mudanças, devido às crescentes exigências impostas pelo mercado, no que tange às suas atividades produtivas. Desta forma o mercado industrial está exigindo uma redução dos custos de fabricação, o aumento da produtividade e da melhoria da qualidade de seus produtos, a necessidade de novos lançamentos e a criação de produtos com maior valor agregado para que ele seja mais competitivo.

Essas mudanças devem compreender desde o oferecimento de estratégias administrativas e econômicas, até a proposição de medidas de modernização tecnológica dos processos envolvidos.

Nessa economia globalizada, buscam-se desafios para uma maior competitividade dentro do mercado nacional, fazendo com que as indústrias procurem atingir padrões de qualidade superiores, com uma relação custo/benefício menor e com menores perdas durante o processo de fabricação da cerâmica vermelha. A exemplo do modelo genérico de PORTER (1986), que visa a liderança no custo total, refletida pelo menor preço, diferenciação de produto e/ou serviço, oferecendo maior valor agregado, chegando-se ao alvo mais facilmente.

Com o objetivo de buscar a competitividade e por uma questão de sobrevivência no mercado, uma vez que muitas ameaças estão surgindo, a ponto de fazer com que somente empresas que consigam manter preços competitivos com padrões de qualidade aceitáveis, permanecerão concorrendo no mercado, neste trabalho procurou-se pesquisar os impactos tecnológicos da incorporação no processo produtivo atual de um subproduto oriundo de rejeitos de materiais cerâmicos denominado chamote.

Levando-se em conta os fatores citados acima e somando-se a questão da política ambiental, a nível mundial e nacional, que visa orientar os segmentos produtivos para a utilização de elementos recicláveis, evitando uma contaminação do meio ambiente por descarte desses resíduos em locais inadequados, existe uma necessidade eminente para o aproveitamento de resíduos utilizados no processo industrial bem como elevar o valor agregado do produto final.

## 1.1 Importância do Tema

O município de São Miguel do Guamá está localizado no Estado do Pará, e até a primeira metade do século XX sua economia estava baseada exclusivamente no setor primário, onde se destaca o extrativismo vegetal e a agricultura. Todavia, a partir de 1968 o caulim da região do médio Capim começou a ser pesquisado e, a partir daí, várias jazidas passaram a ser utilizadas pela indústria cerâmica do Estado do Pará, (IBGE, 2007).

Algumas das principais jazidas encontram-se às margens dos rios Guamá e Capim.

A área produtiva de cerâmica vermelha apresenta-se com significativas implicações no desenvolvimento sócio-econômico do país, através da geração de emprego e renda (MAS, 2001, ELY FILHO, 2000 e BUSTAMANTE e BRESSIANI, 2000). Assim, observa-se a importância da reciclagem de resíduos e a sua influência direta nos produtos, quanto aos níveis de qualidade e produtividade.

Com isso, deflagra-se a necessidade do oferecimento de medidas administrativas e econômicas para a modernização tecnológica dos processos envolvidos.

Hoje o município de São Miguel do Guamá destaca-se como um dos maiores pólos oleiros da região norte do Brasil e do Estado do Pará, possuindo reservas com um volume de exploração de 1.763.000 m<sup>3</sup> de argila de coloração acastanhada com elevadas concentrações de ferro e plasticidade moderada. E levando-se em conta que o consumo de material para produção de cerâmica vermelha nesta região é de cerca de 70.000m<sup>3</sup>/ano, pode-se prever que o tempo de vida útil desses depósitos seja da ordem de 25,5 anos ( DNPM 2006).

Considerando que o País tem sofrido transformações de forma acelerada em seu cenário produtivo e econômico, onde através dessas transformações surge uma nova realidade que coloca desafios importantes para as indústrias de cerâmica vermelha, entre os quais o da sua sobrevivência em um mercado mais exigente e competitivo, propor a implementação de aproveitamento de resíduos através de metodologias científico-administrativas para o setor da cerâmica vermelha, mostra-se uma necessidade contínua na atual conjuntura produtiva. Esse avanço tende

garantir o crescimento desse setor e sua maior estabilidade no mercado ao oferecer melhorias na qualidade dos produtos, bem como na produção.

Sendo assim, o trabalho proposto nesta tese estabelece uma alternativa para a utilização de chamote na massa-cerâmica para a fabricação de produtos de cerâmica vermelha, com o objetivo de reduzir o passivo ambiental causado pela atividade oleira. Especificamente, estuda a quantidade de chamote e as temperaturas ideais para a incorporação desse resíduo a massa cerâmica e avalia o efeito da adição sobre as propriedades físicas e mecânicas do produto. Foram adicionados chamote nas porcentagens de 10 %, 20 %, 30 %, em massa cerâmica.

A importância desse trabalho foi a de produzir materiais com qualidade e enquadrados dentro das normas brasileiras para materiais cerâmicos, adicionando aos mesmos, diferentes porcentagens de chamote. A principal vantagem na produção destes materiais está no benefício que esse produto trará ao meio ambiente, onde haverá menos resíduos descartados no ambiente, menor remoção de recursos naturais (argila) e menor gasto com disposição de chamote, resultando em benefícios ambientais devido a redução na disposição e conseqüentemente melhoria na qualidade de vida do homem.

Este aproveitamento de chamote no processo industrial, pode contribuir para a diversificação de produtos aumentando seu valor agregado e para a diminuição dos custos finais de sua produção, racionalizando a extração de matéria-prima e produzindo produtos adequados a política ambiental.

## **1.2 Objetivo geral**

O trabalho desenvolvido tem como objetivo geral estudar a possibilidade da utilização de chamote gerada pela indústria oleira Cecal da região de São Miguel do Guamá no noroeste do Pará, no que tange ao processo de fabricação de cerâmica vermelha, e contribuir para soluções de problemas ambientais causados pelo descarte dos resíduos provenientes da indústria oleira na região.

### 1.3 Objetivos específicos

- Levantamento das perdas de tijolo após sua queima, durante o processo produtivo;
- Analisar o comportamento físico, químico e mecânico de cada mistura de massa cerâmica com diferentes percentagens de chamote, argila de várzea e taguá, através de ensaios de retração linear secagem e após a queima, porosidade aparente, massa específica aparente e tensão de ruptura à flexão, análise química dos elementos que constituem cada amostra e difração de raio-x;
- Apresentar uma proposta de uso de chamote na produção de cerâmica vermelha, eliminando a contaminação do meio ambiente e melhorando a qualidade da cerâmica vermelha em relação as suas características físicas, evitando um impacto gerado pelo descarte desses resíduos na natureza;
- Apresentar uma proposta de inovação tecnológica em conjunto com o reaproveitamento de resíduos de chamote, com a sugestão de um produto superior ao tijolo em termos de valor agregado.

### 1.4 Estrutura

O trabalho está subdividido em 7 capítulos, estruturados da seguinte forma:

- Capítulo 1: Introdução;
- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica – revisão do conhecimento sobre cerâmica vermelha e o uso de resíduos/chamote na fabricação da cerâmica vermelha;
- Capítulo 3: Metodologia, técnicas e procedimentos adotados na realização da pesquisa;

- Capítulo 4: Análise e interpretação dos resultados dos ensaios realizados: físico, químicos, difração de raio x, absorção atômica;
- Capítulo 5: Conclusões e sugestões - apresentação das conclusões do estudo e sugestões para a continuidade da pesquisa;
- Referências Bibliográficas: Relação da bibliografia consultada na elaboração do trabalho;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica sobre a cerâmica vermelha no mundo e no Brasil, sua constituição mineralógica, os tipos de cerâmicas, o processo de fabricação, assim como o aproveitamento dos resíduos (chamote) gerados durante o processo industrial.

### 2.1 Histórico da cerâmica

A palavra cerâmica é derivada do grego “*kerameikos*”, que quer dizer “feito de terra”. A cerâmica vermelha é assim chamada, porque possui coloração avermelhada no produto final, em função do tipo de matéria-prima utilizada.

Com a denominação de Cerâmica Vermelha, englobam-se produtos como o tijolo e suas variações, constituindo-se, via de regra, por um grupo de produtos rústicos onde o acabamento dificilmente ocorre.

A história de fabricação da cerâmica data do período neolítico, onde o homem pré-histórico já fazia cestas de vime com barro. Verificou-se mais tarde que poderia usar somente o barro e constatou-se que o calor o fazia endurecer, tornando-o estável na água, surgindo assim a cerâmica.

Segundo Hufnagel (1992) no Egito, mediante análises com o Carbono 14, foram encontrados os mais antigos itens arqueológicos acerca da cerâmica, onde a manufatura de tijolos datava 13 mil anos a.C.; também foram achados outros sítios arqueológicos de 15 séculos antes de Cristo, onde ilustravam 21 operários empilhando tijolos. Na Mesopotâmia 4000 anos a.C. a técnica de queima dos artefatos de cerâmica manufaturados já era utilizada e, já eram produzidos artefatos em diferentes cores. Acrescenta ainda, esse mesmo autor, que se mostra difícil determinar quando se iniciou a produção em escala industrial. Evidências estimam em 85 milhões de tijolos a quantidade utilizada na construção da Torre de Babel, cuja extensão do trabalho pode representar a primeira forma de produção industrializada.



Nas ilhas Japonesas, foram encontrados objetos de cerâmica de baixa temperatura datados de cerca de 12000 anos. Mas é na China que se encontra a verdadeira origem da cerâmica mais refinada, que mais tarde influenciou povos de todas as partes do mundo. Os chineses criaram a cerâmica de grés (argila queimada a alta temperatura, vitrificada e colorida) e com a evolução dos fornos deu-se o aparecimento dos esmaltes. Na dinastia Chou (1222-255 a.C.), foram queimadas as primeiras peças a 1200°C surgindo em torno de 1000°C as primeiras porcelanas que se tem notícias (PENIDO & COSTA, 1999).

No ano de 4.000 antes de Cristo, os povos assírios obtinham cerâmicas vidradas e os gregos, árabes, romanos e egípcios, utilizavam tijolos queimados nas suas construções (MÜLLER *et al.*, 1990).

Os egípcios distinguiram-se notavelmente na fabricação de tijolos, em variadas formas e aspectos. Muito antes da era Cristã, este povo já moldava peças e adornos em argila esmaltada para revestimentos, assim como ladrilhos para pisos.

Porém, segundo Reverté (1979), foram os romanos, os primeiros a estabelecerem uma fabricação racional de tijolos como atividade industrial, devido às necessidades crescentes na construção de suas cidades. Já os muçulmanos, herdeiros das artes da Pérsia, Assíria e Caldéia, também foram grandes propagadores da arquitetura com tijolos.

Em diversos países europeus existem edificações que são exemplos dos estilos praticados pelos seus antigos habitantes e que, até hoje se conservam, como o romano e o bizantino, na Itália; o árabe, na Espanha; o romano e o gótico, na França.

Conforme Glancey (2001), o tijolo era o material de construção mais utilizado pelas civilizações mesopotâmicas, devido à abundância de argila e a escassez de madeira e pedra na região. Os mesopotâmios empregaram tijolos em construções como os jardins suspensos da Babilônia, o portão de Ishtar (feito com tijolos coloridos) e a torre de Babel.

No século XVIII ocorreram avanços tecnológicos no processo de fabricação, que incluíram a padronização das formas e a queima em forno túnel. A introdução da energia a vapor no século XIX conduziu à mecanização do processo cerâmico, possibilitando um melhor controle da matéria-prima, secagem mais rápida e moagem de grãos (REDD, 1995).

A cerâmica vermelha teve seu desenvolvimento no seio de todos os povos, cuja falta de pedra para as construções era constante. Porém, foram os romanos que implementaram novas técnicas e aprimoraram a fabricação da cerâmica como atividade industrial, através do crescimento das grandes construções dessa época. Basicamente a Europa toda herdou as práticas trazidas pelos povos antigos, tais como romanos, bizantinos, árabes, entre outros, que influenciaram fortemente no estilo das construções nesses continentes. O surgimento das primeiras máquinas moldadoras para fabricações de tijolos movimentadas por força animal ocorreu por volta de 1850, sendo mais tarde substituídas por máquinas a vapor e possibilitando assim, o aumento significativo da produção. Pode-se considerar esse fato como sendo o primeiro grande salto para a indústria da cerâmica vermelha, pois possibilitou a fabricação de peças especiais e dos tijolos ocos ou furados (STEIL, 2000).

Com a invenção da primeira máquina modeladora em 1850, por Frederico Schlickeysen, foi possível a fabricação de componentes cerâmicos de diversas formas e tamanhos, além de peças cerâmicas vazadas. A máquina que originou a extrusora era acionada por um cavalo e tinha a produção de 1500 peças por dia (MITIDIERI *et al.*, 1988).

No século VII os chineses fabricavam a porcelana, e no século XVIII surgiu a louça branca, na Inglaterra. A partir daí surgiram tipos especiais de fornos, a possibilidade de cerâmica de dimensões exatas, a moldagem a seco, porcelanas de alta resistência (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2004).

Na metade do século XX observa-se o rápido desenvolvimento de tecnologia, com maior mecanização, controle de temperatura de queima e fabricação de produtos para aplicação refratária e eletrônica (REED, 1995).

A procura e utilização desse novo produto foram aumentadas, exigindo das fábricas, pequenas e médias, a melhoria da qualidade com preços competitivos, tendo alguns países da Europa conseguidos uma modernidade de tal ordem, que permitiu a exportação para outros mercados, mesmo a grandes distâncias. Por exemplo: Paris recebeu grandes quantidades de tijolos furados, provenientes da Itália, antes de 1936, mesmo tendo centros produtores mais próximos, como Marselha (STEIL, 2000).

Nos séculos subseqüentes, criaram-se formas de se produzir artigos cerâmicos substituindo-se o trabalho manual pesado por máquinas que utilizassem como fonte de energia a água, a força animal e também o vapor.

Destacam-se as invenções de Henry Clayton, que desenvolveu um moinho de barro holandês, o chamado "*kleymühle*", de Kinsley, como um dispositivo de prensar tijolos (REVERTÉ, 1979)

O aumento da produção veio por meio da criação de um forno de ciclo contínuo. Esta inovação veio com um forno em forma de anel desenvolvido pelo alemão Friedrich Hoffmann, para o qual foi concedida uma patente prussiana, em 1858. Mais tarde o mesmo foi adaptado para a forma retangular, com o objetivo de economizar espaço (REVERTÉ, 1979).

Outra preocupação que começou a surgir foi a do tempo excessivo de secagem do tijolo antes de entrar no forno, sendo que em 1895, outro alemão chamado Keller, construiu uma planta experimental que incluía o primeiro secador de câmara que utilizava como fonte de calor. O vapor excedente que seria desperdiçado, que era forçado a passar por um trocador de calor para suprir de ar quente o interior da estufa.

Um passo evolutivo em relação à queima de produtos cerâmicos foi dado em 1877, quando foi concedido pelo Governo Imperial Alemão a Otto Bock a patente nº 1340, que representava o desenvolvimento do primeiro forno túnel com fogo contínuo, para agilizar o processo (REVERTÉ, 1979).

Em geral os princípios construtivos, permaneceram os mesmos até a metade do século passado, com singelas modificações. A partir desse ponto, as inovações passaram a se concentrar no sentido de melhorias na qualidade do produto, com a introdução do vácuo nos processos de extrusão, formando uma massa mais coesa, e modificações estruturais que possibilitaram o aumento das capacidades produtivas das extrusoras. Estas passaram a ser construídas, opcionalmente, com um misturador acoplado que otimiza a atuação do vácuo, conhecido como agregado a vácuo.

Em relação à prensagem, para a produção de telhas, o sistema construtivo das prensas foi transformado de semi-automático (que era acionado pelo operador), para automático (que é o sistema rotativo contínuo das matrizes, sobre as quais são prensadas as telhas), sistema utilizado até hoje.

No que se refere aos equipamentos para os serviços de preparação, limpeza, alimentação, classificação da argila e corte; algumas concepções diferenciadas também foram desenvolvidas neste período, como os desintegradores/separadores de pedras, os caixões alimentadores, as galgas para trituração da argila, os cortadores pneumáticos, os laminadores, e os misturadores de alta capacidade.

## **2.2 Cerâmica no Brasil e no Estado do Pará.**

A cerâmica indígena brasileira é considerada uma das mais antigas das Américas, tendo sido encontrados objetos produzidos há cerca de 5000 anos. Os índios, especialmente os que viviam às margens do rio Amazonas, São Francisco e Negro, utilizavam o barro. O trabalho mais conhecido talvez seja o da ilha de Marajó, no Pará (PENIDO & COSTA, 1999).

Com a vinda de imigrantes europeus para o Brasil, também foi trazida a tecnologia da produção de tijolos e telhas, que mediante de organizações familiares, contribuiu para o surgimento das pequenas olarias em diversas regiões do país. Inicialmente, os oleiros imigrantes, por motivos de sobrevivência, ingressaram na agricultura, e somente numa segunda etapa, houve o real exercício da profissão (SECTME, 1990).

A raça negra colaborou com sua mão-de-obra escrava na produção de produtos cerâmicos, destacando-se na fabricação de telhas, as quais eram conformadas manualmente, moldadas nas suas pernas. A utilização de telhas cerâmicas no país ocorre desde o descobrimento do Brasil (JUNIOR *et al.*, 1999).

No século XVI surgiram as principais fábricas de tijolos, telhas e manilhas no Brasil, nos Estados de Pernambuco, Bahia e Santa Catarina. Essas fábricas funcionavam em processos manuais e eram responsáveis pelo fornecimento desses produtos para as diversas regiões do país (PRACIDELLI, 1989).

Muitos imigrantes europeus com habilidades e conhecimentos em fabricação de cerâmica vermelha, também contribuíram para o desenvolvimento da indústria cerâmica, introduzindo a técnica fabril no Brasil e dando origem as olarias (DIAS *et al.*, 2000).

Em 1900 a 1940, teve início o processo de industrialização da cerâmica no Brasil, com empresas se instalando em São Paulo e Rio de Janeiro. Próximo a este período, foi fundada a primeira fábrica de telhas do Brasil no Estado de São Paulo (MACEDO, 1997).

Depois da segunda guerra mundial ocorreu o grande desenvolvimento da indústria cerâmica. Sua rápida evolução ocorreu devido à abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias embutidas nos equipamentos industriais (MACEDO, 1997; ABC, 2002).

Segundo o Anuário Brasileiro de Cerâmica (2004), é incontestável a importância do segmento de cerâmica vermelha para a economia do país, salientando que o faturamento do setor chegou a 4,2 bilhões de reais em 2003, traduzindo-se em uma participação no PIB nacional da ordem de 1%. Esse segmento produz tijolos vazados e maciços, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas (tubos) e pisos rústicos. É uma atividade de base, ao possibilitar a construção civil em geral, desde a mais simples às mais sofisticadas.

Em 2005, os cinco principais produtores mundiais foram China com 3,1 bilhões de m<sup>2</sup>, Espanha com 648 milhões de m<sup>2</sup>, Itália com 572 milhões de m<sup>2</sup>, Brasil com 568 milhões de m<sup>2</sup> e Índia com 303 milhões m<sup>2</sup> (ANICER, 2005).

É importante destacar que a China e a Índia tiveram crescimento representativo em relação a 2004, ou seja, 41% e 12%, respectivamente. A Espanha apresentou um pequeno crescimento de 2%, o Brasil cresceu 1%, e a Itália sofreu pequena queda de menos de 0,5%. No caso da Itália, é o quarto ano consecutivo de queda (REVISTA MUNDO CERÂMICO, 2003).

A Itália, Espanha e Brasil, respectivamente, foram os maiores exportadores de revestimentos cerâmicos em 2004. A Itália aumentou em 7,5% suas vendas aos EUA, atingindo a marca de 70,7 milhões m<sup>2</sup>. A Espanha com 35,6 milhões m<sup>2</sup>, porém com queda de 2,7%, e o Brasil com 27,1 milhões de m<sup>2</sup>, apresentando um crescimento de 23% (REVISTA MUNDO CERÂMICO – ANO XII – Nº 102, 2003).

No nosso território nacional existem cerca de 8.500 a 11.000 fábricas, em sua maioria de pequeno porte (até 100 empregados), com uma produção de cerca de dois bilhões de peças mês, gerando cerca de 250 a 400 mil empregos diretos (BUSTAMANTE *et al*, 2000).

O segmento de cerâmica vermelha, destaca-se dentro do setor cerâmico, sendo de grande importância em toda a cadeia da construção civil. São milhares de empresas espalhadas em todo país, produzindo principalmente tijolos maciços, blocos de vedação, telhas, manilhas e pisos.

O faturamento brasileiro do setor em 2005 é estimado em R\$ 4,3 bilhões (556 milhões de m<sup>2</sup>), 2% a mais que 2004. Do total produzido em 2005, 78% foram vendidos no mercado interno e 20% destinados às exportações. O preço médio das vendas que vinha apresentando aumentos significativos foi de R\$ 7,7/m<sup>2</sup>. No mercado interno, em 2005, as vendas atingiram 442 milhões de m<sup>2</sup>, com faturamento de R\$ 3,4 bilhões. Houve crescimento de 3%, se comparado a 2004 (ANICER, 2005).

Segundo dados da ANICER (2005), o setor cerâmico é diversificado, conforme indicado na Tabela 01, onde apontam os números de fabricantes, sua produção mensal, e o consumo de matéria-prima no país.

Tabela01: Produção de materiais cerâmicos no Brasil.

	<b>Nº de empresas aproximada</b>	<b>Percentual Max por área</b>	<b>Produção/mês N° de peças</b>	<b>Consumo t/mês matéria-prima Argila</b>
<b>Blocos de tijolos</b>	4200	63%	4.000.000.000	7.800.000
<b>Telhas Cerâmicas</b>	2400	36%	1.300.000.000	2.500.000
<b>Tubos</b>	20	0,2%	465Km*	--

Fonte: ANICER, 2005

Essas empresas geram centenas de milhares de empregos diretos, movimentam mensalmente milhões de toneladas de matérias-primas e faturam valores anuais superiores a outros setores cerâmicos (DUAILIBI *et al.*, 2002).

O Estado do Pará possui o maior número de empresas do setor de cerâmica vermelha da Região Norte, distribuídas em aproximadamente 07 Micros Regiões e que são significativas do ponto de vista econômico para o Estado, que até o ano de 1996 contava com aproximadamente 800 empresas nesse setor, muitas informais, gerando mais de 6000 empregos diretos. Cadastradas pelo SEBRAE/PA registra-se a quantia de 712 (SOUZA *et al.*, 1995).

A produção industrial no estado do Pará encontra-se ainda restrita a fabricação de produtos estruturais (telhas e tijolos, maciços e vazados), em tal escala que não supre por completo o mercado interno, necessitando suprir com produtos cerâmicos das regiões Nordeste e Centro-Oeste. Um forte condicionante dessa situação é o escasso processo de modernização das indústrias, o que dificulta a introdução de produtos e processos produtivos competitivos, em termos de preço e qualidade, com aqueles oriundos dos estados do Nordeste e Centro-Oeste. Este cenário é resultado, em parte, do desconhecimento, por parcela do setor produtivo, das características implícitas dos materiais cerâmicos, da evolução do setor e da ausência de investimentos em tecnologia de processo (SOUZA *et al.*, 1995).

A seguir a Tabela 02 indica-se os Pólos - Oleiros produtores de cerâmica vermelha no Estado do Pará.

Tabela 02: Distribuição do Parque Industrial de cerâmica Vermelha do Pará.

Micro Regiões	Empresas	Produção (peças/mês) 10 <sup>3</sup>	Empregos Diretos
São Miguel do Guamá	17	7000	600
Proximidades de Belém (Castanhal, S. Izabel e Benevides)	13	5000	500
Abaetetuba (todas micro empresas)	500	6000	3000
Santarém	30	2500	300
Bragança	14	2000	350
São Sebastião da Boa Vista Empresa Informal	120	1500	1100
Marabá	18	500	150
Total do Estado	712	24500	6000

Fonte: SOUZA & SOUZA, 2001

\*Nota: produção apontada pela associação latino americana de fabricantes de tubos cerâmicos (Acertubos), considerando o número de 11 empresas brasileiras, responsáveis pela fabricação de 5580 Km/ano.

Desde 1986 a Universidade Federal do Pará, através do Centro Tecnológico, em parceria com o Sebrae tem participado com projetos de pesquisa e extensão nos Pólos Oleiros do Estado, com o objetivo de desenvolver tecnologia adequada e melhoria no processo de produção (SOUZA *et al.*, 1995).

---

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (2004), a abundância de matérias-primas naturais fez com que as empresas brasileiras de cerâmica evoluíssem rapidamente. Pode-se citar que as fontes alternativas de energia e a disponibilidade de tecnologias contribuíram para esse crescimento.

Apesar de a indústria cerâmica nacional apresentar um nível alto de evolução tecnológica, em todo país ainda existe um grande número de pequenas olarias produzindo artesanalmente, como na região nordeste do Pará.

Nesta região destaca-se o Pólo industrial de São Miguel do Guamá, no qual o seu parque industrial vem sofrendo uma transformação e modernização na produção de cerâmica vermelha no Estado do Pará.

## **2.3 Constituição mineralógica das argilas**

A composição mineralógica das argilas, a origem dos argilominerais, estrutura cristalina e a composição química e mineralógica, estão contextualizadas nos itens a seguir.

### **2.3.1 Argila**

A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade. Todas as argilas são constituídas por argilominerais, que são compostos quimicamente por silicatos hidratados de alumínio e ferro, contendo ainda certo teor de elementos alcalinos terrosos. Além dos argilominerais, as argilas, geralmente contem, matéria orgânica, sais solúveis e



partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais. (SANTOS, 1989).

Segundo a ABNT (NBR 6502/95), as argilas são compostas por partículas de diâmetro inferior a 0,002mm, que apresentam plasticidade quando úmidas e, quando secas, formam torrões dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos.

De acordo com Pinheiro (2003), a argila é a fração do solo, cujas partículas apresentam um diâmetro inferior a 0,002 mm e que adquire plasticidade em contato com a água. A fração argila, no entanto, não é constituída só de partículas que apresentam plasticidade. É constituída também de diversos tipos de partículas, que podem ser classificadas em substâncias inorgânicas (argilominerais e minerais não argílicos) e substâncias orgânicas.

Na Tabela 03, apresenta em detalhe essa classificação argilominerais subdivididas em substâncias orgânicas e inorgânicas

Tabela 03 Classifica os diversos tipos de partículas que podem estar presentes nas frações dos solos

Substâncias Inorgânicas		Substâncias orgânicas	
Minerais não argílicos	Argilominerais		Vegetal (húmus) Animal (microorganismos)
	Hidróxidos de Fe e Al	Quartzo	
		Feldspatos	
		Calcita e dolomita	

FONTE: PINHEIRO *et al.*, (2002).

A argila muitas vezes é encontrada na vizinhança imediata da rocha-mãe, as quais são as argilas mais puras ou caulins. A argila transportada pelas águas ou pelo vento é a menos pura. Os dois tipos de argila distinguem-se pela plasticidade, densidade, cor e teor de impurezas minerais ou orgânicas. (GARCIA *et al.*, 1974)

De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (2004), argila é um material de textura terrosa, de granulações finas, constituídas, essencialmente, de argilominerais, podendo conter outros minerais que não são argilominerais, matéria orgânica e outras impurezas.

As argilas são constituídas essencialmente por partículas cristalinas extremamente pequenas de um número restrito de minerais conhecidos como argilominerais. Uma argila pode ser composta por partículas de um argilomineral ou por uma mistura de diversos argilominerais. Quimicamente, os argilominerais, como foi assinalado acima, são compostos por silicatos hidratados de alumínio e ferro, contendo certo teor de elementos alcalinos-terrosos. Além dos argilominerais, as argilas contêm, geralmente, outros materiais, tais como matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais, e podem conter, também, minerais não-cristalinos ou amorfos (SANTOS, 1989).

### **2.3.2 Origem dos argilominerais**

Quando falamos de argilominerais formados diretamente dos minerais das rochas devido à ação de intemperismo químico, pode-se afirmar que: (a) quando a drenagem é boa, os álcalis e os alcalino-terrosos são lixiviados e, na medida em que são liberados dos minerais pelos agentes de intemperismo, como o K e o Mg, ocorre a formação da caulinita; (b) se a drenagem natural é deficiente, ou seja, se os álcalis e os alcalino-terrosos não são lixiviados (permanecendo o manto de intemperismo) e a rocha é rica em potássio, formam-se as ilitas; (c) se a rocha for rica em magnésio se formarão as montmorilonitas (PINHEIRO, 2003).

### 2.3.3 Estrutura cristalina

As estruturas básicas das argilas são de tipos bilaminares 1:1 (uma lâmina octaédrica e uma lâmina tetraédrica), que é a estrutura mais simples, e trilaminar 1:2 (uma lâmina octaédrica e duas lâminas tetraédricas) (KRAUSKOPF, 1972).

As dimensões das folhas tetraédricas e octaédricas são tais que podem reajustar ou encaixar entre si para formar camadas (compostas de duas ou mais folhas) numa variedade de maneiras, as quais dão origem à maioria das estruturas fundamentais dos argilominerais conhecidos (SANTOS, 1989).

A classificação dos tipos de argilas é baseada no arranjo dessas camadas, no espaçamento entre elas e nos elementos químicos envolvidos.

O método mais rápido e preciso de identificação dos tipos de argilominerais é através da análise por difração de raios-X. A microscopia eletrônica (MEV) também é uma ferramenta importante. Análises químicas simples podem ser usadas para indicar a presença de matéria orgânica e outros constituintes. A análise térmica diferencial (DTA - *Diferencial thermal analysis*) e a gravimétrica (*Thermogravimetric analysis*) também são utilizadas para determinar os minerais argilosos e não argilosos dos solos (PINHEIRO, 2003).

### 2.3.4 Composição química e mineralógica

#### a) Caulinita:

A Caulinita é o principal argilomineral componente das argilas, sendo a responsável pela elevada resistência mecânica dos produtos cerâmicos. Quando pura, é pouco utilizada por necessitar de elevadas temperaturas para adquirir melhor resistência, necessitando ser misturadas a outros tipos de argila (SANTOS, 1989).

A unidade estrutural básica da caulinita é constituída de uma camada de tetraedros de sílica e de uma camada de octaedros de alumínio (gispsita), onde as hidroxilas desta são parcialmente substituídas pelos oxigênios dos vértices dos tetraedros da camada de sílica. A unidade estrutural da caulinita, do ponto de vista

iônico, é neutra. Frequentemente, as caulinitas são constituídas de 6 unidades estruturais (PINHEIRO, 2003).

Segundo Reed (1995), a fórmula estrutural é  $Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$ .

**b) Montmorilonita ou Esmectita:**

A montmorilonita, em pequenas proporções, é benéfica nas argilas para cerâmica vermelha, porque favorece a plasticidade, a fusibilidade e a sinterização, é dita expansiva por absorver grande quantidade de água. Pode ocasionar, por ser muito plástica, problemas na moldagem e trincas na secagem e queima (SANTOS, 1989).

O grupo das montmorilonitas depende da espécie e tipo, foi caracterizado pela primeira vez numa ocorrência em *Montmorillon*, França. Também é conhecido por grupo das esmectitas, palavra que evidencia a estrutura esmética ou lamelar (GOMES, 1988).

Este grupo possui grande capacidade de absorção água e de permuta catiônica (80 a 150 meq/100g), porque, além de apresentar ligações quebradas nas extremidades, possui cargas negativas nas superfícies das unidades estruturais (PINHEIRO, 2003).

**c) Ilitas:**

A ilita é muito utilizada em blocos, tijolos, telhas e lajota, sendo responsável pela coloração avermelhada dos produtos. É muito plástica, de fácil moldagem e apresenta bom desempenho de secagem (SANTOS, 1989).

Usualmente, as ilitas ocorrem como partículas muito pequenas, lamelares, que aparecem misturadas com outras argilas e materiais não-argilosos. O diâmetro médio das ilitas varia entre 0,1 e 0,3  $\mu$ m. A área de superfície  $\mu$  desses minerais é da ordem de 65 a 100  $m^2/g$  (PINHEIRO, 2003).

**d) Compostos de ferro:** As argilas possuem em suas formações geológicas, teores entre 4% e 8% de óxidos e/ou hidróxidos de ferro. O óxido de ferro, normal nas rochas ígneas, mistura-se geralmente com a caulinita, dando a cor vermelha ou amarelada da maioria das argilas. Devido à presença de CaO e MgO, a cor dos produtos altera-se para vermelho-claro ou amarelo devido (ZANDONADI *et al.*, 1991).

**e) Carbonatos:**

Os carbonatos em percentuais menores que 7%, são minerais não-silicatos, que aparecem nas argilas sob a forma de calcita, dolomita e magnesita. Com granulometria fina e homogeneizada uniformemente nas argilas, suas reações ocorrem entre os argilominerais e o quartzo, formando silicatos de cálcio quando a temperatura de queima for de 950°C ou maior (ZANDONADI *et al.*, 1991).

**f) Micas:**

As micas ocorrem com freqüência em solos residuais de gnaisses, mica-xisto e quartzitos micáceos. As micas são silicatos cujos tetraedros (agrupados em cadeias planas) dão nítido aspecto estratificado-plano. Os minerais micáceos são moles, elásticos e ocorrem no solo sob a forma de palhetas. Quanto mais alto for o teor de mica, mais compressível e mais elástico é o solo (PINHEIRO, 2003).

**g) Feldspatos:**

Segundo Pinheiro (2003) os feldspatos são os minerais mais comuns entre os minerais parcialmente alterados. A fração areia dos solos de alteração de granito é constituída de feldspatos alterados e de quartzo. Eles são ricos em óxidos alcalinos e alcalino-terrosos.

Os feldspatos são considerados fundentes, mas na cerâmica vermelha a temperatura de queima não é suficiente para que as reações ocorram entre eles e os demais componentes, sendo considerados materiais inertes (QUINTANA, 2000).

**h) Quartzo:** Normalmente nas argilas com calcário, o quartzo está finamente distribuído e na temperatura de queima de 900°C ele reage com CaO, formando silicato de cálcio. Também tem a função de aumentar a resistência mecânica, atuando como material inerte. Pela expansão decorrente de sua transformação polimorfa, o quartzo diminui sensivelmente a contração de queima das peças, aumenta a produção, melhora a qualidade do produto e diminui a quebra na produção. Já o quartzo em teores elevados e com granulometria grossa provoca efeitos contrários aos acima citados (OSHIMOTO *et al.*, 1991).

**i) Matéria orgânica:** Apesar de ser prejudicial ao comportamento mecânico dos solos, a presença de matéria orgânica em pequenas quantidades aumenta a plasticidade das argilas, ajudando na moldagem e aumentando a resistência mecânica a seco. Porém, matéria orgânica em excesso pode causar trincas na secagem e na queima devido à grande contração. Durante a queima, o excesso de

matéria orgânica dificulta a combustão (oxidação), podendo ocorrer formação de núcleos pretos (MÜLLER *et al.*, 1990).

**j) Sais solúveis:** As argilas em sua grande maioria possuem em sua composição teores de sais solúveis, ricos em elementos alcalinos e alcalino-terrosos (sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio). Esses sais em concentrações menores que 1%, ajudam na redução da temperatura de queima, devido a sua grande reatividade com os argilominerais e com a sílica. Quando em temperaturas acima de 800°C, esses sais, facilitam a formação do coração negro e aumentam a contração linear de secagem (JORDÃO *et al.*, 1994).

## **2.4 Tipos de cerâmicas**

Os tipos de cerâmicas são cerâmica branca, cerâmica de revestimento, cerâmica vermelha e materiais refratários.

### **2.4.1 Cerâmica branca**

Um grupo diversificado, que compreende os produtos obtidos a partir de uma massa de coloração branca, normalmente recobertos por uma camada vítrea, transparente e incolor, como por exemplo, louça de mesa, louça sanitária e isoladores elétricos.

Os produtos de cerâmica branca são geralmente conformados por prensagem, moldagem plástica (pratos) ou colagem (peças sanitárias), com temperaturas de calcinação em geral acima de 1200°C (TOFOLLI, 1997).

Segundo Jordão & Zandonadi (2002), esta cerâmica é fabricada com massas constituídas principalmente por argilas caulínicas, quartzo e fundente (feldspato, calcita, dolomita, filito, talco e outros), que após a queima apresentam cores claras.

O setor das cerâmicas brancas pode ser subdividido nos segmentos apresentados na Tabela 04.

Tabela 04: Segmentos do setor de cerâmicas brancas

<b>Segmento</b>	<b>nº empresas</b>	<b>Capacidade Instalada (peças/ano)</b>	<b>Produção (peças/ano)</b>	<b>Faturamento (US\$ milhões)</b>	<b>Empregos Diretos</b>
Louça de mesa	200	167.000.000	134.000.000	70	20.000
Louça sanitária	12 (19 fábricas)	24.000.000 (peças grandes) *	19.000.000 (peças grandes) *	186	5.500
Isoladores elétricos	6 (9 fábricas)	44.000	28.000	39	1.700

FONTE: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (2003).

#### 2.4.2 Cerâmica de revestimentos

Responsável pela produção de materiais na forma de placas, usados na construção civil para revestimentos de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos, os quais recebem diversas designações, tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, grês, lajota, piso, etc; (ABCeram, 2005).

#### 2.4.3 Cerâmica vermelha

A cerâmica vermelha é uma das indústrias mais difundidas e é um dos poucos campos da cerâmica em que a única matéria-prima, a argila, é moldada na forma final de utilização e queimada sem a adição de outros minérios (SANTOS, 1989).

Também conhecida como cerâmica estrutural, compreende todos os produtos que apresentam cor vermelha após a queima. Os principais produtos fabricados por esse setor são destinados à construção civil.

São tijolos maciços, blocos cerâmicos de vedação e estruturais, telhas, manilhas e lajotas para piso, elementos vazados, argilas expandidas. O efeito da cor vermelha após a queima é resultante da oxidação de compostos de ferro presente ou liberado pela argila, matéria-prima utilizada na sua fabricação. A intensidade da cor varia pela quantidade de óxido de ferro que compõe a argila, como também da presença de outros minerais e da atmosfera oxidante do tratamento térmico (JORDÃO *et al.*, 2002).

Segundo Thomaz (1988), os produtos resultantes da cerâmica Vermelha possuem grande aceitação no mercado nacional e internacional, não apenas pelo seu aspecto técnico, mas pelo seu valor cultural.

A matéria-prima da cerâmica vermelha possui grandes quantidades de silte e areia, variando sua cor de preto, cinzenta, vermelha, castanha, amarela ou verde. O teor em fração argilosa é baixo, mas suficiente para permitir o desenvolvimento da plasticidade necessária para a moldagem dos corpos cerâmicos. Esta plasticidade cresce com as relações minerais argilosos / minerais não argilosos. A argila é queimada em atmosfera oxidante, a temperatura em regra não superior a 950°C, e após a queima os corpos apresenta cor vermelha, porém se argila for calcária essa tonalidade é atenuada, resultando em uma tonalidade acastanhada (GOMES, 1988).

#### **2.4.4 Materiais refratários**

Segundo a ABCeram (2005), os materiais refratários, abrangem grande diversidade de produtos com finalidade de suportar temperaturas elevadas em condições específicas de processo e/ou de operação. Usados basicamente em equipamentos industriais, estão geralmente sujeitos a esforços mecânicos, ataques químicos e variações bruscas de temperatura, entre outras adversidades. Para suportar estas condições, foram desenvolvidos vários tipos de produtos, a partir de diferentes matérias-primas ou mistura desta.

**a) Isolantes térmicos:** os produtos incluídos nessa classificação podem ser:

- refratários isolantes que não se enquadram no segmento de materiais refratários,



- isolantes térmicos não refratários, incluindo produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, silicato de cálcio, lã de vidro e lã de rocha, que podem ser utilizados, a temperaturas de até 11 000°C;

- fibras ou lãs cerâmicas que apresentam composições tais como sílica, sílica alumina, alumina e zircônia e que, dependendo do tipo, podem chegar a temperaturas de até 2000°C ou mais.

**b) Cerâmica de alta tecnologia/cerâmica avançada:** são produtos desenvolvidos a partir de matérias-primas sintéticas de altíssima pureza, por meio de processos rigorosamente controlados e classificados, de acordo com suas funções. São usadas em diversas aplicações como naves espaciais, satélites, usinas nucleares, implantes, aparelhos de som e de vídeo, suporte de catalisadores para automóveis, sensores (umidade, gases e outros), ferramentas de corte, brinquedos, acendedores para fogão, entre outros.

## 2.5. Argilas para cerâmica vermelha ou estrutural

Segundo Santos (1989), as argilas são misturas de toda a espécie de resíduos e costumam ser considerados resíduos ou refugos geológicos, provenientes da decomposição de rochas ou minerais. Sua mistura não é somente argilomineral, mas também uma grande variedade de impurezas orgânicas e inorgânicas.

### 2.5.1 Classificação

Pode-se dizer que as propriedades das argilas estão diretamente ligadas ao local de onde são extraídas. Desse modo, quanto ao local de extração, são classificadas em argilas de várzea, morro e taguá.

**a) Argilas de várzea:** ocorre geralmente às margens de rios, com uma granulometria muito fina e muito plástica, o que indica a presença de matéria

orgânica. Após a queima apresenta contração linear. As argilas de várzea variam sua coloração natural de cinza claro a preto (MULLER *et al.*, 1990).

Segundo Jordão & Zandonadi (2002), a argila de várzea, apresenta textura terrosa, esfarelada e em torrões, granulometria fina e quando úmida elevada plasticidade, sendo empregada como ligante da massa. Possui com maior frequência impurezas como o quartzo, mica e matéria orgânica; essa última quando em teores elevados, é uma das principais responsáveis pela perda e contração do produto durante a queima.

**b) Argilas de morro:** são argilas com um baixo teor de matéria orgânica, freqüentemente com presença de cascalhos e seixos. Após a queima, possuem uma coloração variável entre amarela e vermelha (MÜLLER *et al.*, 1990).

Conforme Jordão e Zandonadi (2002), são argilas que possuem baixa plasticidade, encontram-se longe de banhados e de rios, apresentam textura terrosa, granular ou em blocos, desagregando-se geralmente em pequenos fragmentos. Contém quartzo e feldspato como impurezas além de baixo teor de matéria orgânica.

São argilas que ocorrem em encostas e sopés de morros, consistindo em solos bem drenados com colorações diversas: marrom-claro, amarelo, rosa, cinza (TAVARES, 2002).

**c) Argilas do tipo taguá:** Normalmente são encontradas em camadas bastante profundas sob rios ou encostas de morro. A extração depende de máquinas potentes e muitas vezes a utilização de dinamites. Estes materiais caracterizam-se por camadas delgadas e muito duras de materiais argilosos de cores variadas, com a predominância do vermelho e do cinza. Para a utilização na linha de produção este material deverá ser seco e moído (JORDÃO *et al.*, 2002).

No Brasil, as argilas gordas ou plásticas recebem o nome genérico de taguá, mas em termos técnicos são argilas ilíticas. Geralmente, são argilas sedimentares ou folhelhos argilosos ricos em ferro e potássio, e de granulometria muito fina (SANTOS, 1989).

A extração de taguás muito pré-adensados, geralmente exige o uso de explosivos, a fim de vencer a compactação e dureza dessas argilas (ZANDONAD *et al.*, 1991).

**d) Argilas gordas ou plásticas:** Também conhecidas como Taguá no Brasil, são argilas de elevados teores de argilominerais de granulometria muito fina e

normalmente com elevado teor de óxido de ferro. As argilas gordas ou plásticas apresentam ótimas características de moldagem, com baixo consumo de energia. Frequentemente, apresentam dificuldades na secagem, devido ao elevado teor de umidade e de retração. A queima se processa com apreciável contração de dimensões, causando o aparecimento de tensões, trincas e deformações. As causas dos defeitos podem ser evitadas corrigindo-se a composição da massa cerâmica por meio da adição de argilas magras, com conseqüente redução da plasticidade e de problemas de secagem/queima (MÜLLER *et al.*, 1990).

**e) Argilas magras ou não plásticas:** Segundo Müller *et al.* (1990), são as argilas que apresentam baixa plasticidade. São encontradas tipicamente em solos com elevados teores de sílica. Sua plasticidade deve ser corrigida com a adição de uma argila gorda (plástica), para melhorar as condições de moldagem e aumentar a resistência mecânica do material em estado cru (após secagem em estufa).

## 2.6 Processo produtivo de cerâmica vermelha

Na indústria cerâmica tradicional, grande parte da matéria-prima utilizada é natural, sendo obtidas por mineração. Desta forma, a primeira etapa de redução de partículas e de homogeneização das matérias-primas é realizada na própria mineração, sendo que após esta fase a matéria-prima ainda deve ser beneficiada (desagregada ou moída), classificada de acordo com a granulometria e muitas vezes também purificada na indústria cerâmica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2004).

Segundo Zandonadi (1991), o processo produtivo consiste numa série de operações onde as matérias-primas passam por uma seqüência de processamentos, adquirindo em cada etapa novas propriedades ou alterando suas características físicas e químicas até a obtenção do produto final.

De acordo com Ripoli Filho (1997), a seqüência para a fabricação de cerâmica vermelha pode ser explicitada na Figura 01.

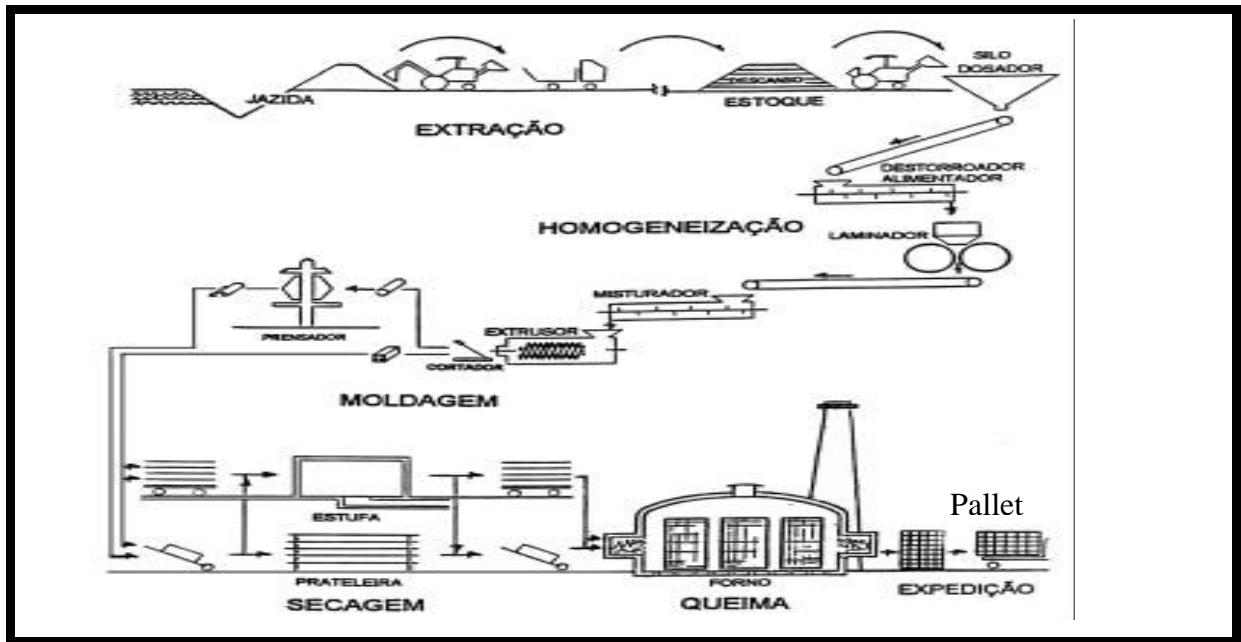


Figura 01 – Processo de fabricação da cerâmica vermelha (RIPOLI, 1987).

Os produtos de cerâmica vermelha e o seu processo produtivo sofreram ao longo desses anos pouquíssima evolução tecnológica, acarretando em baixas produtividades e desperdícios no setor, causando problemas de qualidade para a indústria da construção civil (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

### 2.6.1 Extração da matéria-prima

No Brasil, segundo Muller *et al.*, (1990), a extração da argila a céu aberto é precedida pela remoção das camadas de solos superficiais (solo vegetal e raízes), até atingir-se a camada de argila a ser extraída.

De acordo com Jordão & Zandonadi, (2002), o plano de extração normalmente prevê a remoção da camada vegetal e solo arável, a drenagem da água do local, o aproveitamento completo da jazida e a formação de plataformas que facilitem o transporte.

Os depósitos de argila devem ser selecionados cuidadosamente, levando-se em conta que a rentabilidade da unidade fabril requer uma produção sem problemas durante cerca de 20 anos (GOMES, 1988).

### 2.6.2 Sazonamento

Basicamente o sazonamento consiste na estocagem a céu aberto em períodos de tempo que variam de seis meses a dois anos. Quando o material extraído fica exposto às intempéries, resulta na lavagem dos sais solúveis e o alívio de tensões nos blocos de argilas, melhorando sua plasticidade e homogeneizando a distribuição da umidade. As argilas são depositadas em camadas nos pátios das empresas, e dependendo dos tipos de argilas e das propriedades desejadas da mistura final, ocorre uma variabilidade de espessura e alternância das camadas (ZANDONADI *et al.*, 1991).

O transporte de matérias-primas da mineração para o processamento é realizado por via rodoviária ou ferroviária, porém, dependendo de suas características e de seu grau de processamento, podem ainda permanecer estocadas em pátios a céu aberto, para maturação, por cerca de seis meses. Durante esse tempo, ocorre a decomposição da matéria orgânica presente na camada de solo, tornando a matéria-prima mais pura e homogênea para entrada no processo. Em alguns casos são utilizados armazéns para as matérias-primas, que são subdivididos em boxes, silos de envelhecimento e secagem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2004).

O sazonamento facilita a moldagem por extrusão, evitando o inchamento das peças após a moldagem, ocorrendo deflorações, trincas e ruptura da peças no processo de secagem, e o desenvolvimento de gases durante a queima (SANTOS, 1989).

### 2.6.3 Beneficiamento

Segundo o Anuário Brasileiro de Cerâmica (2005), o processo de trituração da matéria-prima na mineração fornece tamanhos de partícula de, aproximadamente 2 mm. Porém, para conseguir uma maior redução de granulometria (partículas de diâmetro de 1 mm), faz-se necessário o uso de moinhos. Desta forma, a massa

cerâmica é encaminhada aos moinhos por meio de esteiras, geralmente por gravidade. Nos moinhos é realizada a moagem, juntamente com água, dando origem à barbotina. Essa redução da granulometria serve para muitas aplicações, tais como telhas, paredes, placas de revestimento, produtos refratários e louça de mesa. O mercado oferece alguns tipos de moinhos, sendo que cada um possui características específicas:

**a) Moinho de Bolas:** A massa cerâmica é introduzida em cilindros de aproximadamente 2,0 m de diâmetro e 2,5 m de comprimento, que giram na posição horizontal, apoiados em dois eixos nas extremidades. Na parte interna, se encontram esferas (em geral, de alumina de alta densidade), responsáveis pela moagem do material;

**b) Moinho de Rolos:** São empregados extensamente na indústria pesada da argila para desintegrar, aplainar e homogeneizar as partículas de argila. O equipamento consiste em rolos que giram verticalmente posicionados, operando dentro de um anel exterior ao equipamento. A pressão é desenvolvida entre o rolo e o anel por ação centrífuga. A massa cerâmica pode ser introduzida no moinho com ou sem água, até atingir a granulometria necessária;

**c) Moinho de Martelos:** O equipamento consegue redução de tamanho das partículas por força de impacto. As matérias-primas no moinho são quebradas quando golpeadas por martelos, que giram rapidamente em seu interior;

**d) Moinho Corredor de Borda:** São apropriados para reduzir o tamanho das partículas de matérias-primas plásticas. As bandejas com bases perfuradas asseguram a definição dos tamanhos das partículas, enquanto as bandejas molhadas têm a função de permitir o controle de água no material.

#### **2.6.4 Dosagem e alimentação**

Uma das etapas fundamentais do processo de fabricação de produtos cerâmicos é a dosagem das matérias-primas e aditivos, que deve seguir com rigor as formulações de massas previamente estabelecidas. As matérias-primas devem ser adicionadas em proporções controladas, bem misturadas e homogeneizadas, de

modo a conseguir a uniformidade física e química da massa. A transferência destas matérias-primas para o processo é feita por meio de guias, correias-transportadoras, elevadores, transportadores helicoidais, transportadores pneumáticos e esteiras, de acordo com as características do material, como granulometria, resistência ao atrito e ao escoamento, temperatura, quantidade e espaço disponível, e outros. O processo de fabricação, tem início somente após essas operações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2004).

As matérias-primas, após o sazonalamento, são transportadas para o caixão alimentador, onde é feita a dosagem da quantidade de material necessária para dar entrada na linha de produção. O material dosado é conduzido aos desintegradores, onde os grandes blocos de argila são desintegrados e as pedras, quando existirem, são separadas por centrifugação. Durante esta etapa, se o teor de umidade da mistura for muito elevado (varia de 16% a 25%), a eficácia de equipamentos como o desintegrador será menor, não desintegrando os blocos de argila, mas apenas amassando-os. Todo material desagregado é transportado para o misturados, onde se inicia a homogeneização, sendo adicionado água quando necessário. Após, a mistura é transferida para o laminador, que tem a função de ajustar a granulometria, completar a homogeneização e cortar a massa em lâminas (JORDÃO *et al.*, 2002).

### **2.6.5 Moldagem**

No Brasil, a indústria oleira usa processos manuais ou mecânicos de moldagem que podem se por prensagem (fabricação de telhas e tijolos) ou extrusão, este é o mais usado. Os tijolos moldados mecanicamente apresentam maior resistência mecânica e menor porosidade que os moldados manualmente (SILVA *et al.*, 2001).

Nesta etapa, a massa plástica é colocada numa extrusora, também conhecida como maromba, onde é compactada e forçada por um pistão ou eixo helicoidal, por meio de bocal com determinado formato. Como resultado obtém-se uma coluna extrudada, com seção transversal e com o formato e dimensões desejados. Em seguida essa coluna é cortada, obtendo-se desse modo peças como tijolos vazados,

blocos, tubos e outros produtos de formato regular, como no caso de alguns tipos de isoladores elétricos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2004).

A extrusão pode ser uma etapa intermediária do processo de formação, seguindo-se, após corte da coluna extrudada, a prensagem, como é o caso para a maioria das telhas, ou o torneamento, como para os isoladores elétricos, xícaras e pratos, entre outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2004).

Segundo Oshimoto & Thomaz (1991), nas extrusoras que possuem câmaras de vácuo, o ar é retirado da massa, melhorando sua plasticidade com menor consumo de água, facilitando a secagem e aumentando a resistência mecânica do produto verde. A qualidade da extrusão vai influenciar diretamente nas propriedades finais do produto verde ou queimado.

### 2.6.6 Secagem

Segundo Roman (1983), na secagem idealmente deve ser retirada toda água adicionada à peça durante a moldagem.

O processo de secagem vem é a eliminação da água contida nas peças por evaporação através da utilização de ar aquecido. As peças cerâmicas são consideradas secas se ao final do processo ainda restarem entre 1% e 2% de umidade residual. No decorrer da secagem, as peças sofrem contrações, ocorrendo a formação de poros (PRACIDELLI, 1988).

Conforme Tofoli (1997), o processo de secagem deve ser lento e sob baixa temperatura (110°C-120°C), de modo que a água saia lentamente do interior da peça, sem causar deformações e/ou trincas.

Segundo Verçoza (1987), há quatro processos básicos de secagem:

- **Secagem natural:** usado nas pequenas olarias, mas é demorado e exige grandes superfícies. Ela é feita em telheiros extensos, ao abrigo do sol e com ventilação controlada. Pode também ser realizada em depósitos quase fechados de madeira, colocados em torno e acima do forno, do qual aproveitam o calor.



- **Secagem por ar quente-úmido:** o material é posto nos secadores, onde recebe ar quente com alto teor de umidade, até grande redução da água absorvida. Posteriormente recebe só ar quente, para perder a água de capilaridade levando a deformações mínimas.

- **Secadores de túnel:** são túneis pelos quais se faz passar o calor residual dos fornos (de 40°C a 150°C). As peças são colocadas em vagonetas, que percorrem lentamente o túnel, no sentido da menor para a maior temperatura.

- **Secagem por radiação infravermelha:** Este tipo de secagem é pouco utilizado por possuir alto custo e por servir somente para peças delgadas. No entanto, permite alto rendimento e pouca deformação. É usada para peças de precisão.

De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (2005), logo após a etapa de formação, a peças contém grande quantidade de água, proveniente da preparação da massa. Para evitar tensões e, conseqüentemente, defeitos nas peças (como trincas, bolhas, empenos, etc) é necessário eliminar essa água de forma lenta e gradual até um teor suficientemente baixo, de 0,8% a 1,5% de umidade residual. A secagem pode ser realizada em dois tipos de secadores, verticais ou horizontais;

**a) Secador Vertical:** as peças são introduzidas a uma temperatura de 100°C, elevada gradualmente ao longo do forno. Na parte superior do equipamento existem dois queimadores a gás natural, que aquecem o ar a temperaturas que variam de 125°C até 170°C, eliminando o excesso de umidade das peças para aumentar sua resistência mecânica. O material que deixa o secador vertical na mesma temperatura de sua entrada para evitar choque térmico com o ar à temperatura ambiente. Os ciclos de secagem vertical duram entre 35 e 50 minutos e a umidade residual da peça fica em torno de 2%.

**b) Secador Horizontal ou Túnel:** neste caso as peças são introduzidas em diversos planos no interior do equipamento, e se movem horizontalmente por meio de roletes. O ar quente, que entra em contracorrente com as peças, é produzido por queimadores situados nas laterais do forno, sendo que a temperatura máxima desse tipo de instalação é maior do que no caso dos secadores verticais, e os ciclos de secagem menores (entre 15 e 25 minutos); Comparativamente os secadores

verticais ocupam menos espaço, e operam de forma mais flexível em relação às variações de umidade da peça, mas os secadores horizontais consomem menos energia em função da melhor disposição das peças em seu interior e da menor massa a ser aquecida.

### **2.6.7 Queima**

Na operação de queima, conhecida também por sinterização, os produtos adquirem suas propriedades finais, sendo de fundamental importância na fabricação dos produtos cerâmicos. Da eficiência desta etapa depende o desenvolvimento das propriedades finais destes produtos, as quais incluem seu brilho, cor, porosidade, estabilidade dimensional, resistência à flexão, a altas temperaturas, à água, ao ataque de agentes químicos, e outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2004).

É imprescindível, o projeto e a instalação correta dos fornos, a fim de garantir uma combustão eficiente. Em função do tipo de produto, o ciclo de queima pode variar de alguns minutos até vários dias. Durante esse tratamento ocorre uma série de transformações em função dos componentes da massa, tais como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem dos grãos. Desta forma, em função do tratamento térmico e das características das diferentes matérias-primas, são obtidos produtos para as diversas aplicações. As reações provocadas nas várias etapas do ciclo de queima constituem a base das seguintes conversões físicas e químicas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2004):

- Até 100°C: eliminação da água livre não eliminada totalmente na secagem;
- Aproximadamente 200°C: elimina-se a água coloidal, que permanece intercalada entre as pequenas partículas de argila;
- De 350°C a 650°C: combustão das substâncias orgânicas contidas na argila;
- De 450°C a 650°C: decomposição da argila com liberação de vapor;
- Aproximadamente 570°C: rápida transformação do quartzo;

- Acima de 700°C: reações químicas da sílica com a alumina, formando sílico-aluminatos complexos que dão ao corpo cerâmico suas características de dureza, estabilidade, resistência física e química;

- De 800°C a 950°C: carbonatos se decompõem e liberam CO<sub>2</sub>;

- Acima de 1000°C: os sílico-aluminatos que estão em forma vítrea começam amolecer, assimilando as partículas menores e menos fundentes, dando ao corpo maior dureza, compatibilidade e impermeabilidade.

De acordo com Roman (1993), a temperatura ideal de queima está entre 900°C e 1000°C. É necessário um controle rígido de aquecimento até atingir a temperatura máxima desejada para evitar o aparecimento de defeitos ou inutilização do produto. Normalmente o tempo necessário é de 10-30 horas para o aquecimento (730°C a 870°C), 6-8 horas de temperatura máxima (900°C a 1000°C) e 6-25 horas para o resfriamento.

A seguir classificam-se alguns tipos de fornos existentes;

**a) Fornos intermitentes ou periódicos:** Esses tipos de fornos operam com lenha e são típicos das pequenas e médias indústrias. Podem ter ciclo de algumas horas, chegando a até um mês abrangendo a enforma, queima, resfriamento e desforma (OSHIMOTO *et al.*, 1990). A Figura 02 retrata o forno intermitente de chama invertida.

Os fornos intermitentes ou de chama invertida destacam-se por apresentarem melhor homogeneidade na queima. Juntamente com a carga, aquecem-se as paredes, o piso, a abóbada e os canais que absorvem calor. Esses fornos são indicados para os casos de aquecimento e resfriamento longos, como em de peças de grandes dimensões (PRACIDELLI, 1988).

Caracteriza-se por apresentar baixa produtividade, distribuição heterogênea de calor, controle inadequado de temperatura, elevado consumo de energia e mão de obra (OLIVEIRA, 2002).

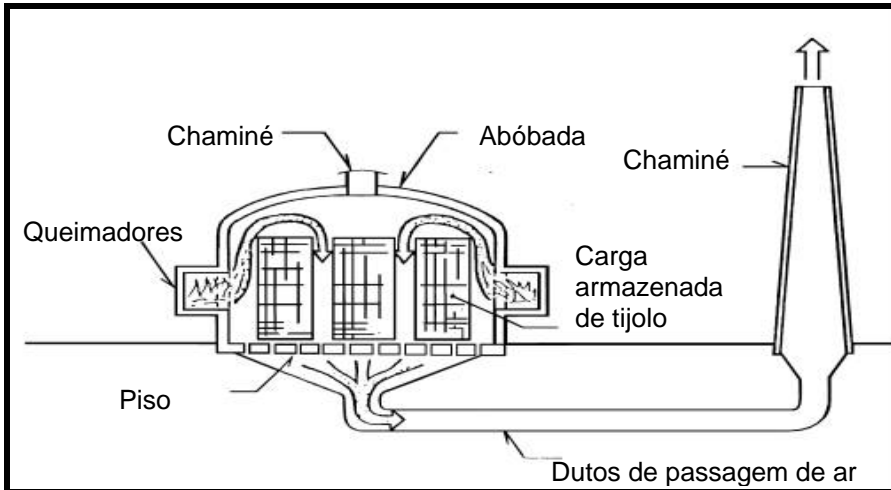


Figura 02. – Forno intermitente de chama invertida (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990).

**b) Fornos contínuos:** Nesses fornos, o material se movimenta, enquanto o fogo permanece fixo. O produto a queimar é colocado sobre vagonetas, que percorrem lentamente a galeria, de uma extremidade a outra, sobre trilhos, empurradas com velocidade contínua. Em intervalos regulares, uma vagoneta é introduzida na galeria enquanto na extremidade oposta outra é retirada (PRACIDELLI, 1988). Os fornos contínuos possuem zonas específicas de temperatura por meio das quais as peças são deslocadas e cumprem um ciclo de queima pré-fixado (ZANDONADI, 1991).

Existem dois tipos de fornos contínuos, o Túnel e o Hoffman os quais são mostrados respectivamente na Figura 03 e na Figura 04.

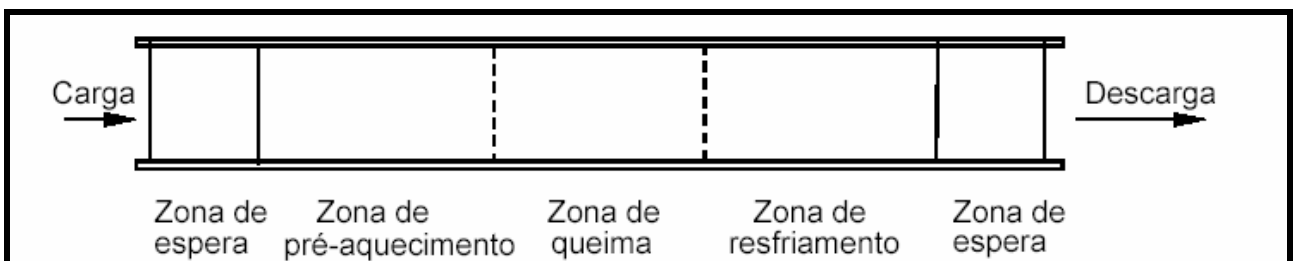


Figura 03 – Esquema de funcionamento de um forno contínuo (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990).

- Fornos tipo Túnel: É o tipo de forno de produção contínuo onde todas as fases são interligadas.

- Fornos tipo Hoffmann: É o tipo de forno que usa o ar quente das câmaras em fogo para o pré-aquecimento das câmaras seguintes, pois todas são interligadas entre si, mantendo a produção contínua e promovendo uma economia natural de energia (GRIGOLETTI, 2001).

Para que esses fornos funcionem bem, deve haver uma perfeita concatenação entre as diversas operações realizadas nas câmaras subseqüentes (OSHIMOTO *et al.*, 1990).

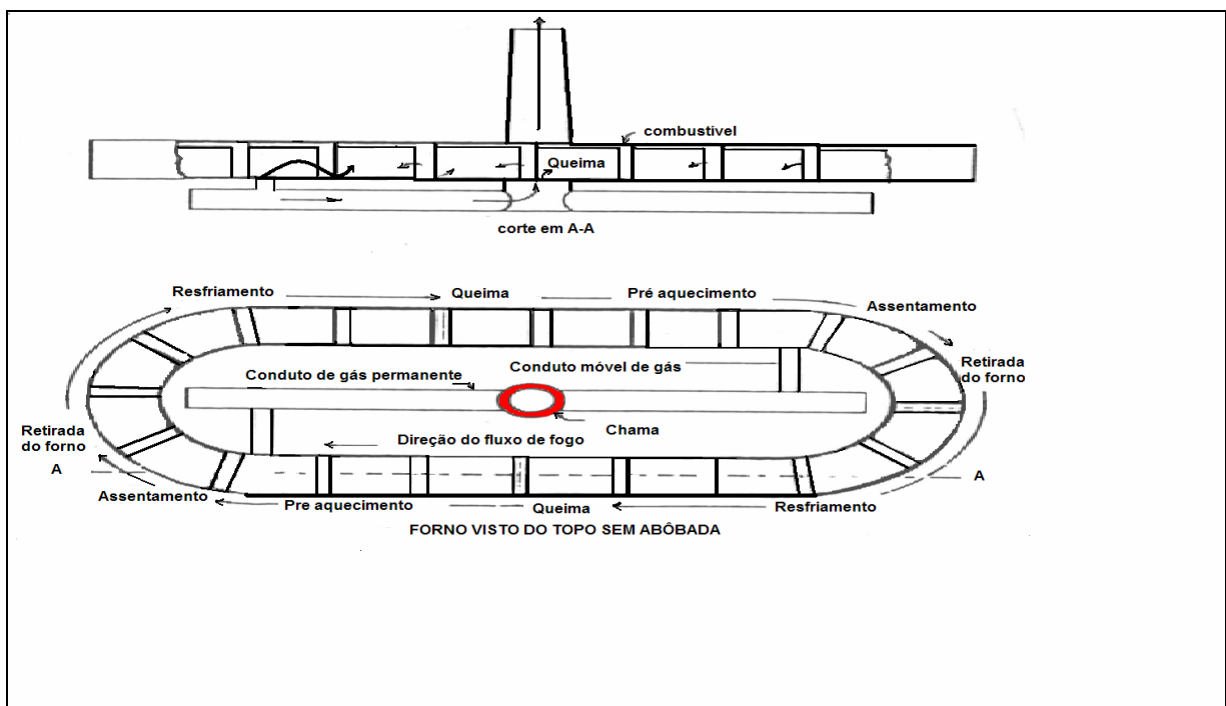


Figura 04 – Esquema de um forno Hoffmann (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990).

### 2.6.8 Expedição

O posicionamento do estoque dos produtos deve facilitar a circulação de veículos de carga e o controle de saída de material da indústria (SOLIANI *et al.*, 1995).

Segundo Santos (1989), o transporte do produto final ao local de estoque é feito com carrinhos de mão na maioria das olarias, e com empilhadeiras em poucas

industrias. Os produtos geralmente ficam armazenados no pátio das empresas, até serem transportados aos consumidores.

## 2.7 Chamote/Resíduos

A chamote pode ser definida como um subproduto proveniente da queima do caulim ou rejeitos de materiais cerâmicos. A chamote é muito utilizada para a produção de tijolos refratários, sendo um produto obtido mediante a queima de uma argila, até o início de sua sinterização. Após a sua sinterização a chamote é britada ou moída fornecendo partículas de diferentes tamanhos, normalmente de 1  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$  (RIPOLI, 1997).

A chamote é utilizada junto à argila e serve para produzir tijolos refratários, sendo a argila o elemento plástico que possibilita a moldagem e, além disso, serve como agente ligante de sinterização em temperaturas mais baixas do que a chamote. A mistura da argila a chamote possibilita minimizar as variações naturais das propriedades físicas e químicas (RIPOLI, 1997).

O desenvolvimento tecnológico e o crescimento econômico, sem dúvida, trouxeram grandes benefícios à sociedade. Entretanto, aliados ao crescimento populacional e a um comportamento inadequado de consumo, provocaram várias conseqüências colaterais. Entre elas, destaca-se a poluição, principal agente de degradação do meio ambiente e de redução da qualidade de vida do homem (ROLIM, 2000).

Os custos associados à prática atual de gestão de resíduos são parte fundamental na avaliação da viabilidade econômica da reciclagem e, conseqüentemente, do interesse do gerador indústria, no desenvolvimento de alternativas de reciclagem (JOHN *et al.*, 2003).

A utilização de rejeitos industriais para a produção de materiais alternativos não é novidade e tem dado certo em vários países do primeiro mundo. As principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais são (MENEZES *et al.*, 2002):

- a) o esgotamento das reservas de matérias-primas confiáveis;

**b)** o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupa o espaço e degradam os recursos naturais;

**c)** a necessidade de compensar o desequilíbrio provocado pelas altas do petróleo.

Segundo Fernandes (2002), os resultados obtidos com esses processos de reuso dos resíduos, demonstram as reais formas de redução de custo e impactos ambientais e comparativos dos investimentos com o retorno financeiro da implantação, que provocam a mudança na conscientização industrial, além do aumento de credibilidade e imagem da empresa perante o mercado consumidor.

De acordo com Betini *et al.* (2006), a autora apresentou um estudo de caso da aplicação da logística reversa no aproveitamento de resíduos da indústria madeireira nos municípios de Abaetetuba, Castanhal, Santarém e Marabá para a fabricação de móveis populares em série. Como resultado teve um aumento das vendas em média de 20%, e um aumento da produtividade de 70%.

Basicamente, um resíduo pode ser aproveitado como fonte energética, ou como matéria-prima. Neste último caso, o resíduo pode ser criteriosamente introduzido no mesmo processo produtivo que o gerou, como ocorre na reciclagem, ou inserido em outro processo produtivo (ABNT 10004/87).

Além das características técnicas que devem ser satisfeitas, outro fator muito importante em se tratando de cerâmica vermelha é a exigência do baixo custo das matérias-primas, considerando que o produto final geralmente possui um baixo valor agregado (DOS SANTOS *et al.*, 2005).

### **2.7.1 Reciclagem**

Reciclagem é o conjunto das técnicas cuja finalidade é aproveitar os resíduos e reintroduzi-los no ciclo de produção. A reciclagem de resíduos, independente do seu tipo, apresenta várias vantagens em relação à utilização de recursos in natura, dentre as quais se tem: redução do volume de extração de matéria-prima e redução do consumo de energia. A vantagem mais visível da reciclagem é a preservação dos

recursos naturais, prolongando sua vida útil e reduzindo a destruição da paisagem, fauna e flora (MENEZES *et al.*, 2002).

O reaproveitamento de resíduos provenientes de processos industriais para obtenção de produtos cerâmicos na construção civil. É uma das soluções para o problema ambiental associado ao descarte de resíduos poluentes (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Segundo Rocha & John (2003), o indicador de aumento do volume de resíduos gerados nos pólos industriais chamou a atenção de pesquisadores para o reaproveitamento destes rejeitos na fabricação de novos produtos. A partir desse momento esses autores propõem uma metodologia para o desenvolvimento da reciclagem de resíduos. Alguns conceitos são apresentados visando a um melhor enquadramento com relação ao aproveitamento de resíduos como materiais de construção, conforme segue abaixo e ilustra o esquema da Figura 05.

**a) Recuperação:** retirada do resíduo do seu circuito tradicional de coleta e tratamento. Exemplo: recuperação de PET e papéis; do sistema de coleta formal; ou ainda, de chamote resultante do processo da produção de cerâmica vermelha;

**b) Valorização:** dar um valor comercial a um determinado resíduo. Como exemplo os vitrocerâmicos;

**c) Valorização energética:** utilização do poder calorífico dos resíduos. Por exemplo, as madeiras destinadas à queima em caldeiras; pó de serra; ou a incorporação de chamote para redução do tempo de queima da cerâmica, visando à eficiência energética;

**d) Reciclagem:** introduzir o resíduo no seu ciclo de produção em substituição total/parcial de uma matéria-prima. Como exemplo pode-se citar a reciclagem do resíduo de perda após a queima da cerâmica vermelha;

**e) Reemprego:** novo emprego de um resíduo para uso análogo ao seu primeiro ciclo de produção. Por exemplo, a incorporação de argamassas ainda no estado fresco, que serão reprocessadas (moinho ANVAR) para a produção de uma nova argamassa; uso da água de lavagem de caminhões-betoneira na produção de concretos;

**f) Reutilização:** aproveitamento de um resíduo, uma ou mais vezes, na sua forma original, sem beneficiamento. Por exemplo, a reutilização da perda após a extrusão, perdas no transporte da cerâmica antes da queima e perdas no corte.



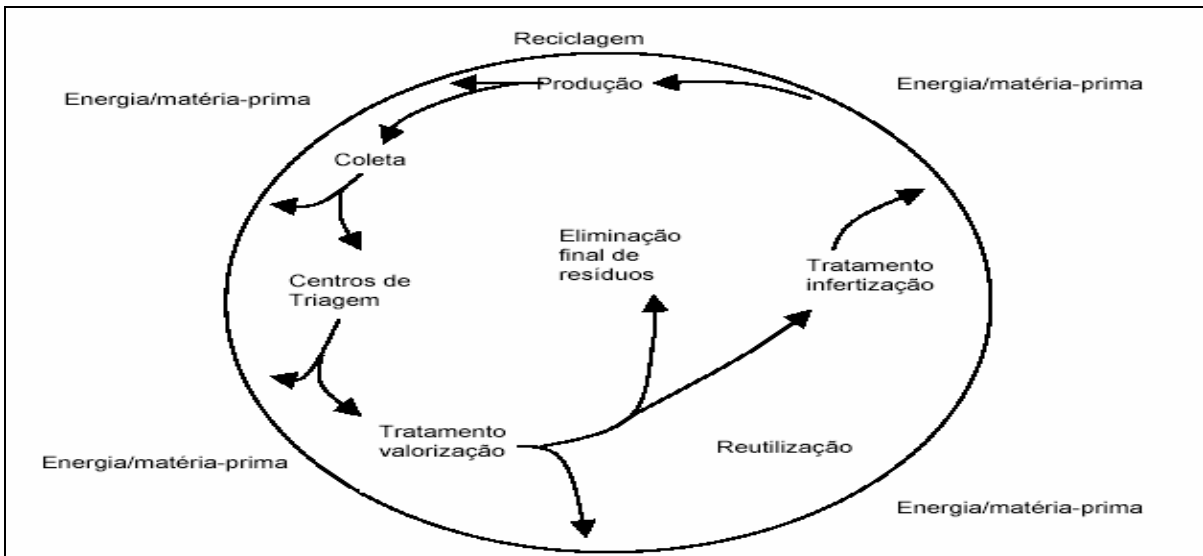


Figura 05 – Esquematização dos processos de aproveitamento de resíduos (redução de matéria-prima e de eficiência energética) (Rocha & John, 2003).

Segundo Rocha & John (2003), as formas adequadas de aproveitamento de resíduos, ou subprodutos industriais, como matéria-prima secundária, devem envolver: um completo conhecimento do processo nas unidades de geração dos resíduos, a caracterização completa dos resíduos e a identificação do potencial de aproveitamento e das características limitantes do uso e da aplicação. Já para os resíduos gerados pelo setor da Construção Civil, durante as diversas etapas da construção, devem ser aprimoradas formas de minimização da geração de resíduos, e quando possível, a sua introdução no próprio processo ou unidade de serviço onde foram gerados.

De acordo com Betini *et al.*(2007), A utilização da logística reversa pode contribuir de forma significativa para o incremento da utilização de resíduos da indústria da cerâmica vermelha, por meio de uma estruturação adequada dos canais reversos com a utilização da reciclagem. Desta forma é imprescindível o conhecimento profundo de toda a cadeia produtiva do setor oleiro, onde se insere cada empresa e a participação ativa de todos os integrantes do processo.

## 2.7.2 Parâmetros dos resíduos

Conforme os autores Rocha & Cheriaf (2003), é de suma importância a necessidade de identificação dos parâmetros estruturais, geométricos e ambientais dos resíduos, conforme procedimento esquematizado na Tabela 05.

**a) Parâmetros estruturais:** através dos ensaios de análise química, difracto - metria de raios-X, análise térmica diferencial, condutibilidade térmica e perda de massa ao fogo, pode-se identificar e conhecer a estrutura e composição dos resíduos.

**b) Parâmetros geométricos:** por meio das análises de microscopia eletrônica de varredura, granulometria, superfície específica, solubilidade e viscosidade, identificam-se a morfologia e textura do resíduo.

**c) Parâmetros ambientais:** o pH e a identificação dos constituintes que podem ser potencialmente lixiviados e/ou solubilizados dos resíduos;

**d) Outros parâmetros:** identificação das propriedades relacionadas à unidade de geração do resíduo e das formas de beneficiamento que podem ser associadas: reologia, presença de óleos, graxas, conteúdo orgânico, pureza, consistência, capacidade de retenção de umidade e capacidade de moagem.

Tabela 05: Esquematização dos processos de aproveitamento de resíduos

Caracterização	
Parâmetros estruturais	Parâmetros geométricos
Difracometria de raios X Análises termogravimétricas Análise química Espectrometria infravermelho	Granulometria Densidade Superfície específica Microscopia eletrônica de varredura
Outros parâmetros	Parâmetros ambientais
Reologia Matéria orgânica Consistência Pureza	Lixiviação de resíduos NBR 10005 Solubilização de resíduos NBR 10006 Testes adaptados de materiais

Fonte: Rocha *et al.*, (2003).

Vários são os resíduos industriais absorvidos pela indústria cerâmica, podendo se citar os resíduos da própria produção cerâmica (chamote), da mineração, da indústria do papel e celulose, metalúrgica, dentre outras, que, independente de sua origem, têm utilização cada dia maior como matérias-primas adicionais na indústria cerâmica. A seguir exemplificam-se algumas experiências com a utilização de resíduos no Brasil.

### **2.7.3 Experiências com adição de resíduos**

Com relação à indústria cerâmica, é possível citar vários trabalhos com foco na reciclagem dos mais variados rejeitos.

O autor Ripoli Filho (1989) pesquisou a fabricação de elementos cerâmicos, por meio da utilização de chamote adicionado à argila. Notadamente, observou as características físicas mecânicas, retração linear de queima, absorção de água, porosidade, massa específica aparente e sucção inicial. A partir dessas observações chegou-se às seguintes conclusões: (a) possibilidade de utilizar o chamote homogeneizado na fabricação de elementos cerâmicos, desde que em proporção ideal e queimado a temperatura adequada; (b) as tensões de ruptura e absorção de água obtidas, estão de acordo com aquelas previstas pelas normas brasileiras; (c) a adição de chamote à argila contribui potencialmente para o controle da retração. Por fim, verifica-se que a adição de chamote à argila permite o aproveitamento desse tipo de resíduo na fabricação de produtos de boa qualidade e contribui para reduzir a poluição ambiental.

Conforme Hildebrando *et al.*, (1999), o rejeito do processo Bayer (lama vermelha) é mais uma alternativa na fabricação de produtos cerâmicos estruturais, sobretudo, pelo seu baixo custo.

Outra contribuição importante é a de Xavier *et al.*, (2001), sobre a adição de resíduos da serragem de mármore à massa de conformação de cerâmica vermelha.

Segundo Menezes (2002), na indústria de cerâmica tradicional as massas utilizadas são de natureza heterogênea, constituídas geralmente, de materiais plásticos e não plásticos, com um vasto espectro de composições, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em

porcentagens significantes. Desta forma, a reciclagem e a reutilização de resíduos provenientes de diferentes processos industriais, como novas matérias-primas cerâmicas, têm sido objeto de pesquisas em diversas instituições

O autor Ambrósio *et al.*, (2004) obteve blocos cerâmicos porosos, utilizando argilas caulínicas e agentes formadores de poros, no caso, poliestireno expandido e resíduo de celulose e serragem. Os materiais produzidos têm aplicação como isolante em termo acústico.

De acordo com Godinho *et al.*, (2004), a incorporação de resíduos de vidros em cerâmica vermelha diminui a absorção de água e aumenta a retração de queima e a tensão de ruptura. Embora nessa pesquisa tenham utilizados pó de vidro de vasilhame, plano e tubo de TV, as diferenças observadas entre os resultados do uso de diferentes tipos de vidros ficam dentro da margem de erro das medições

Em estudos realizados para o aproveitamento de lodo da estação de tratamento de água observou-se que o aumento no conteúdo do lodo resulta em uma diminuição do encolhimento do tijolo, absorção de água e na força de compressão. Os resultados indicaram que o peso do tijolo é menor e a ignição foi o principal fator atribuído ao conteúdo de matéria orgânica contida no lodo (CHIH-HUANG WENG *et al.*, 2003).

Uma alternativa, com o intuito de melhorar as propriedades da argila utilizada em cerâmica vermelha e a reciclagem de rejeitos industriais, pode ser a utilização, como matéria-prima, do resíduo proveniente do acabamento de mármore e granitos (MELLO *et al.*, 2004).

O autor Maia (2004), estudou a influência da secagem na qualidade de peças cerâmicas (chamote-argila). Para realização experimental utilizou-se de uma mistura na proporção de 70%-30% e 60%-40%, respectivamente para as temperaturas de 60°C e 70°C. Após a secagem os corpos foram queimados a uma temperatura de 1268°C, obtendo-se resultados de acordo com as normas técnicas.

Segundo Vieira *et al.*, (2004), o autor estuda o efeito da incorporação de chamote em até 20%, obtido de rejeitos de tijolos queimados em baixas temperaturas, tendo como resultado que a inclusão de chamote a massa cerâmica melhorou os parâmetros de secagem.

De acordo com Monteiro *et al.*, (2005), o autor utilizou resíduo de óleo obtido de processo separação petróleo e adicionou em argilas para produção de um

material cerâmico estrutural, onde os resultados mostraram que em adição de 5-10% de resíduo de óleo no material, provocou um aumento na resistência mecânica.

Procedeu-se a análise do aproveitamento de resíduo cerâmico queimado (chamote) em massa argilosas, nas proporções de 3% e 5%, visando o emprego de telhas no pólo oleiro de Iranduba e Manacapuru, no Estado do Amazonas. Pode-se concluir que foi possível o reaproveitamento do resíduo com teores de massa de 5%, desde que a temperatura de queima seja maior 950°C (CAMPELO, *et al.*, 2006).

Raupp-Pereira, *et al.*, (2006), com o trabalho *Ceramic Formulations Prepared with Industrial Wastes and Natural sub-products*, estudou a utilização de lixo industrial na fabricação de produtos cerâmicos.

Segundo Menezes, *et al.*, (2007), com o trabalho intitulado *Utilização do Resíduo do Beneficiamento do Caulim na Produção de Blocos e Telhas Cerâmicos*, teve por objetivo a caracterização do resíduo do beneficiamento do caulim e a avaliação de sua aplicabilidade como matéria-prima cerâmica alternativa para a produção de blocos e telhas cerâmicos. O autor concluiu que o resíduo é constituído por caulinita, mica e quartzo e que é possível a incorporação de até 50% de resíduo em formulações para a produção de blocos e telhas cerâmicos.

Já Nascimento, *et al.*, (2007), teve a investigação como enfoque no seu trabalho intitulado *Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais*, e procurou mostrar formas de gerenciamento segundo as normas de qualidade ambiental principalmente normas ISO 14000; também deu um valor agregado ao lodo da ETDI viabilizando a sua aplicação em massa cerâmica vermelha, como mostra o Estudo de Caso da Empresa.

O autor Vieira, *et al.*, (2007), com o trabalho intitulado como *Cerâmica Vermelha Incorporada com Lama Fina de Aciaria*, teve por objetivo avaliar o efeito da incorporação de até 20% em peso de lama fina de aciaria, proveniente de uma indústria siderúrgica integrada, na microestrutura de argila caulinítica utilizada para a fabricação de tijolos e telhas, bem como avaliar a inertização de elementos potencialmente tóxicos através de ensaios de lixiviação e solubilização na cerâmica incorporada. Corpos-de-prova foram obtidos por prensagem uniaxial a 18 Mpa e queimados a 900°C. Como resultado indicou que a lama fina de aciaria contribui para o incremento de hematita na cerâmica queimada e que sua incorporação em

20% em peso altera a microestrutura da cerâmica argilosa criando regiões de falhas que contribuem para o decréscimo da resistência mecânica da argila.

De acordo com Silva, *et al.*, (2007), que estudou a lama vermelha, resíduo da indústria de beneficiamento do alumino que é gerada a partir do refino da bauxita para produção de alumina ( $Al_2O_3$ ) através do processo Bayer, através do trabalho intitulado Lama Vermelha da Indústria de Beneficiamento de Alumina: Produção, Características, Disposição e Aplicações Alternativas. Este trabalho apresentou uma revisão de literatura sobre a produção da lama vermelha, suas características, métodos de disposição final, problemas ambientais provenientes de uma disposição inadequada e aplicações alternativas para o seu aproveitamento econômico.

### 3 METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.1 Introdução

O presente capítulo tem com finalidade apresentar a metodologia viável para a reciclagem de chamote resultante do processo industrial da cerâmica vermelha, na qual envolvem conhecimentos de Ciências de Materiais, ambientais, econômicas, processo industrial, além da avaliação de desempenho do produto.

A empresa estudada encontra-se em São Miguel do Guamá no Estado do Pará, cujo nome fantasia é CECAL (Cerâmica Cavalcante).

Primeiramente realizou-se um levantamento bibliográfico sobre as empresas da região, utilizando-se as bibliotecas do centro de Geociências e de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará e o DNPM/Pa (Departamento Nacional de Produção Mineral).

Posteriormente foi feito um trabalho de campo investigativo na Cecal no mês de março a abril de 2007, onde foram avaliados os volumes dos materiais e amostragens para os estudos de laboratório, visitas para obtenção de dados de produção, consumo de argila, lenha, mão de obra, levantamento da metodologia de produção local, levantamento de perdas durante o processo, verificação da existência ou não de um controle de qualidade, no processo estocagem e logística.

Nos meses de maio e junho de 2007, foram realizados os ensaios físicos nos laboratório Tecnológico de Construção Civil e de Engenharia Química da UFPA. E nos mês de junho e julho de 2007 realizaram-se as Análises Químicas, Difração de Raios-X e Absorção Atômica no laboratório do centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

A decisão sobre quais ensaios realizar visando a caracterização do resíduo bem como das técnicas mais adequadas é um problema técnico cuja dificuldade não deve ser subestimada (MACHADO, 2000). Além de uma adequada caracterização, é importante investigar a variabilidade das fontes de fornecimento do resíduo.

Segundo Santos (1989), a amostragem de argila bruta já extraída deve ser realizada na ocasião da carga e descarga dos veículos de transporte, saída de britadores e moinhos.

Devido ao fato de não possuir disponibilidade física para retirada das argilas de várzea e de taguá no local da jazida, para os ensaios de laboratório, as argilas foram retiradas do depósito de estocagem da Cerâmica Cecal, fornecidas pelo dono da empresa.

As duas amostras de argilas utilizadas, argila de várzea e taguá, são oriundas da região de São Miguel do Guamá - PA, sendo comumente utilizadas como matéria-prima em uma olaria.

Para os ensaios cerâmicos, as amostras foram ensaiadas, em um primeiro momento, em seu estado natural, sem misturas. Posteriormente, foram realizados os ensaios cerâmicos com adições de chamote à massa cerâmica, com proporções de 70% várzea + 30% taguá, 70% várzea + 20% taguá + 10% chamote, 70% várzea + 10% taguá + 20% chamote e finalmente 70% várzea + 30% chamote. Para analisar as propriedades das misturas depois de queimadas, foram selecionadas três temperaturas de queima para os corpos de prova: 950°C, 1000°C e 1050°C, baseadas nos padrões de queima de cerâmica vermelha.

Na seção 3.2, foi apresentado e analisado o processo de fabricação de cerâmica vermelha na indústria Cecal, com o objetivo de familiarizar o leitor com os procedimentos industriais utilizados na região de São Miguel do Guamá.

### **3.2 Processo de produção**

O processo de produção da cerâmica vermelha pode ser descrito em treze etapas, conforme indicado na Figura 06. Na seqüência são apresentadas e comentadas as Fotos e Figuras relacionadas as etapas do fluxograma, ilustrando o processo de produção da cerâmica Cecal na região de São Miguel do Guamá.



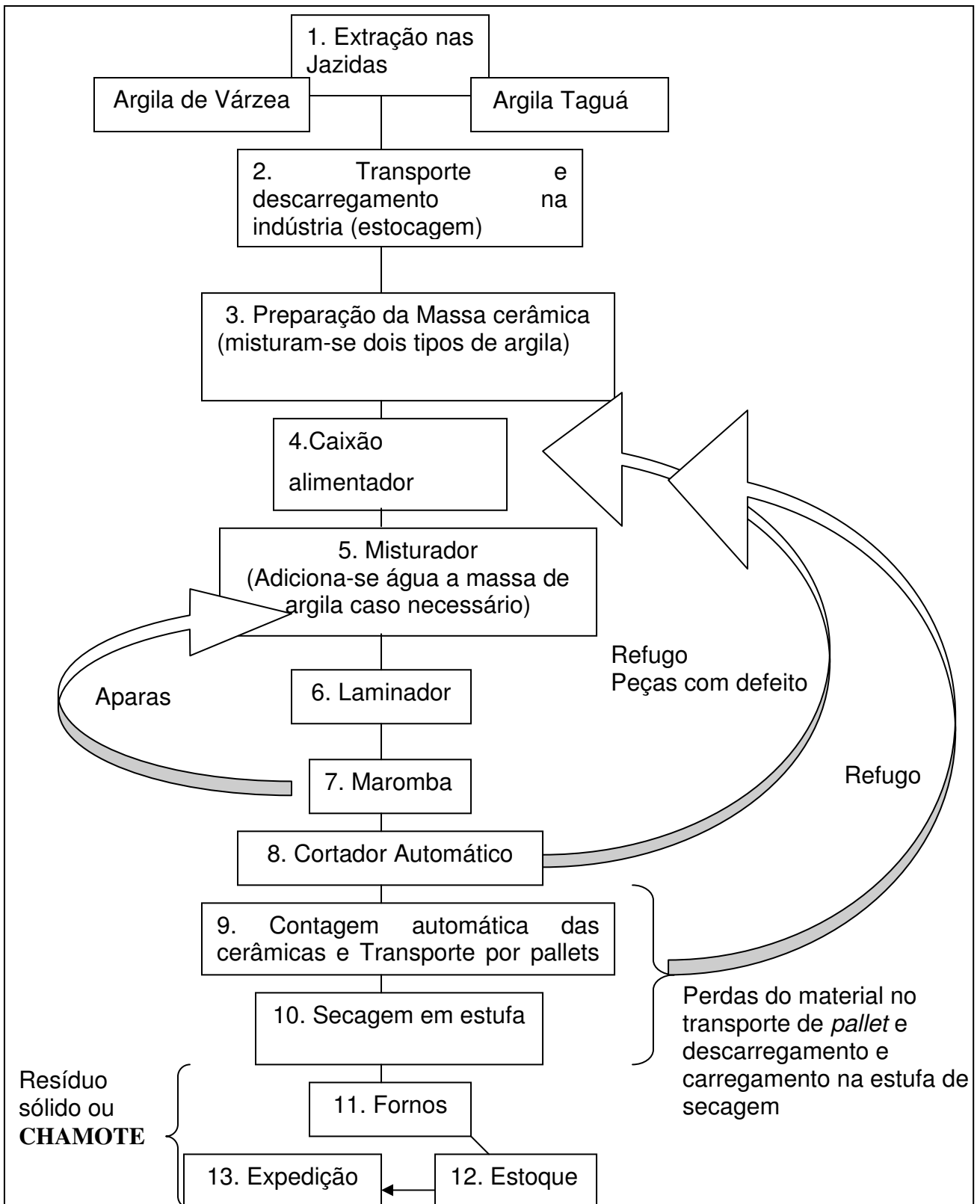


Figura 06: Fluxograma do processo de fabricação da cerâmica Cecal de São Miguel do Guamá.

De acordo com a Figura 06, a etapa 1, consiste na extração da argila de várzea e de taguá. Essas jazidas estão localizadas nos municípios de São Miguel do Guamá e seus depósitos estão localizados às margens do rio Guamá e Iritúia. Esses depósitos ocorrem nas regiões côncavas do rio, facilitando a determinação das suas reservas.

O depósito de Camiranga, que representa a área de extração da indústria Cecal, conforme indicado na Figura 07, apresenta uma área útil, ou região não explorada de aproximadamente 1.175.496,7 m<sup>2</sup>.

Esta extração do material é feita até uma profundidade de 1,5m, e o volume de argila nessa área é de 1.763.245m<sup>3</sup>. A média de extração é 3.129 t/mês durante os seis primeiros meses do ano, sendo que o restante dos outros seis meses não existe extração (processo 2006/81553.DNPM).

Na Figura 07 ocorre o detalhamento das áreas de extração de argila, exemplificando as áreas em potenciais e áreas exauridas no município de São Miguel do Guamá.

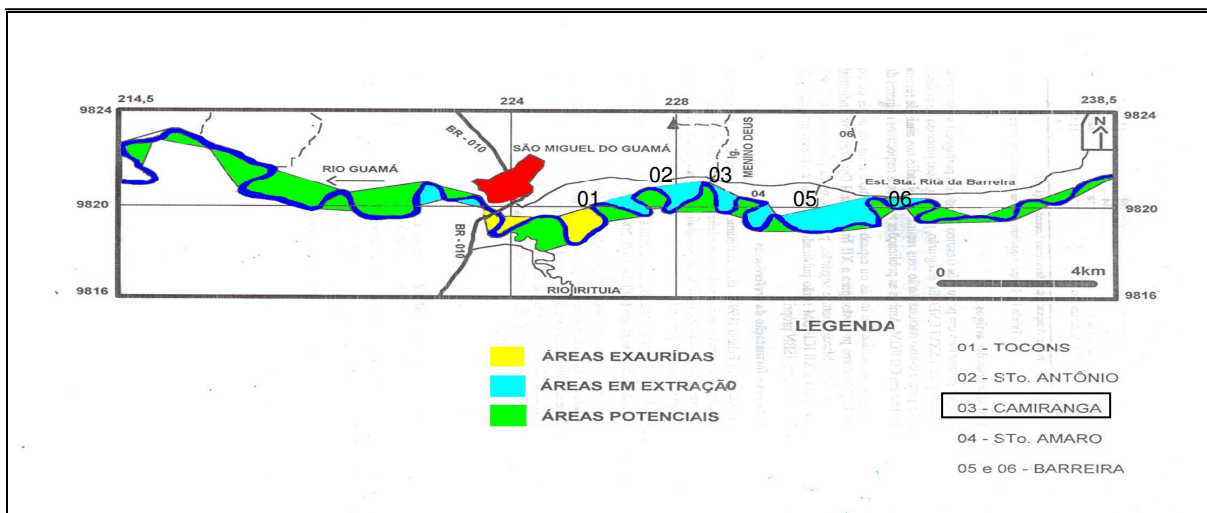


Figura 07: Mapa de extração de argila de São Miguel do Guamá (DNPM, 2006).

A **etapa 2**, refere-se ao equipamento de extração e ao transporte até a indústria. O processo de extração é realizado por uma retro escavadeira e a matéria-prima é transportada em caminhões *truck*.

A **etapa 3**, refere-se a mistura e trabalhabilidade da matéria-prima. Para obter-se uma melhor qualidade das massas cerâmicas as argilas são depositadas em camadas nos pátios das indústrias através de uma retro escavadeira.

Normalmente a espessura e alternância das camadas, dependem dos tipos de argilas e das propriedades desejadas da mistura final, melhorando sua plasticidade, e homogeneizando a distribuição da umidade.

A Foto 01 ilustra o trabalho de uma retro escavadeira, misturando a matéria-prima.



Foto 01: Preparação da massa de argila (Março, 2007).

A **etapa 4** corresponde ao caixão alimentador, como a palavra propriamente diz, é o espaço que recebe a massa previamente trabalhada. Através de uma correia transportadora a massa cerâmica desloca-se do caixão alimentador e segue até o misturador. A Foto 02 indica o caixão alimentador.



Foto 02: Caixão alimentador (Março, 2007).

A etapa 5 corresponde ao misturador, o qual realiza uma homogeneização da massa cerâmica. O modelo do misturador é MTR-4 da Natreb Indústria e Comércio de Máquinas Ltda conforme indicado na Foto 03.



Foto 03: Misturador MTR-4 (Março, 2007).

A etapa 6 do fluxograma corresponde ao laminador modelo LB-800 da Mecânica Bonfanti S.A.

Nessa etapa ocorre a desintegração total da argila, devido às velocidades diferentes dos cilindros laminadores e do atrito de deslizamento que ocorre entre os

pedriscos e pedregulhos, grãos de pedra calcária e outras impurezas até que sejam reduzidas a pó.

Os laminadores complementam o trabalho do misturador, homogeneizando a argila e diminuindo as perdas na produção. O laminador possui uma produção de 20 a 40 toneladas por hora. A Foto 04 mostra o laminador LB –800.



Foto 04: Laminador. Indústria Cecal (Março, 2007).

A **etapa 7** do fluxograma de produção refere-se a extrusão da pasta cerâmica à vácuo. A indústria Cecal utiliza-se da Maromba de modelo 067D/40 Monobloc, com capacidade de trabalho de 07 a 12 m<sup>3</sup>/h. Hoje a empresa está com uma utilização produtiva de 60% a 70% da capacidade da maromba.

Após a matéria-prima ser laminada, a maromba executa a extrusão a vácuo em uma potência de 150/175 ou 200 cv. A Foto 05 indica a maromba de modelo 067D/40.





Cerâmica Cecal

Foto 05: Maromba Indústria Cecal (Março 2007).

A **etapa 8** do fluxograma corresponde ao cortador automático utilizado na indústria Cecal de modelo VB-36 da Sandrana Máquinas para Cerâmica Ltda.

É um cortador eletro-mecânico, com ótima estabilidade na medida e uma perfeita perpendicularidade de corte. O corte se processa no sentido vertical, alternadamente ora de cima para baixo ora de baixo para cima, utilizando-se arames conforme o comprimento das peças a serem cortadas (maciças ou furadas).

Suas dimensões máximas de corte são 22 cm para altura, 40 cm para a largura, 99 cm para o comprimento, com capacidade de produção de 40 golpes por minuto.

Existe um controle visual e manual, para as peças não conformes após o corte. Essas peças refugadas retornam para o caixão alimentador. A Foto 06 ilustra o processo em que o cortador atinge a massa extrusada, depois de cortada as peças são transportadas para um contador e em seguida para os *pallets*.



Cerâmica Cecal

Foto 06: Corte automático com arames (Março 2007).

A **etapa 9** do fluxograma da cerâmica Cecal consiste da contagem dos tijolos cortados. Essa contagem é feita por um contador de linha (Foto 07) que indica o número de tijolos cortados que serão encaminhados para os *pallets*, e estes seguirão através dos trilhos para as secadoras.



Cerâmica Cecal

Cerâmica Cecal

Foto 07: Contador automático e esteira para encaminhamento aos *pallets* (Março, 2007).

A **etapa 10** corresponde à secagem. As estufas funcionam através de secagem por ar quente e úmido. A taxa de secagem está proporcionalmente ligada a

temperatura de secagem e a velocidade do ar de secagem, pois quanto maior a temperatura e a velocidade do ar, mais rápida será a evaporação na superfície da peça cerâmica.

Na Cecal existem três secadores duplos, um com 30cv (exaustor) e os outros dois com 50cv (extratores de umidade), mais 7 motores de 2cv para os ventiladores e um motor de 1cv auto-viajante do tipo fim de curso.

As estufas são abastecidas através dos *pallets* guiados através de trilhos, com descarregamento e carregamento manuais.

Primeiramente o material colocado na estufa recebe o ar quente úmido até que a umidade seja reduzida, em seguida recebe somente ar quente, canalizado dos fornos, para que o material perca a água de capilaridade lentamente e para que suas deformações passem a ser mínimas. Na Foto 08, apresentam-se as estufas/secadores.



Foto 08: Estufas/secadoras (Março, 2007).

A **etapa 11** corresponde a queima do produto. Essa etapa é uma das principais fases do processo de fabricação da cerâmica vermelha, pois é a partir da queima dos tijolos, que os custos envolvidos na produção são maiores.

É nessa etapa do processo que ocorre a sinterização da massa cerâmica.

A Cecal utiliza os fornos do tipo intermitentes ou periódicos que operam com pó de serra e esporadicamente com lenha, conforme Foto 09.





Foto 09: Entrada do forno, e abastecimento da boquilha com serragem (Março, 2007).

O consumo de serragem corresponde a  $1\text{m}^3$  para cada milheiro de tijolo queimado.

O controle de temperatura ocorre por painéis, e a temperatura oscila entre  $920^\circ\text{C}$  a  $950^\circ\text{C}$  (Foto 10).



Foto 10: Painel de indicação da temperatura (Março, 2007).

A indústria Cecal possui seis fornos duplos, sendo quatro deles com capacidade de 35.000 tijolos/cada com ciclo de queima de 24 horas e dois fornos duplos com capacidade de 55.000 tijolos/cada com ciclo de queima de 36 horas.

Cada forno trabalha com sete máquinas para injeção de ar e de serragem, cada máquina possui dois motores de 1cv, um para serragem e o outro para o ar.

É nessa etapa do processo que começam a aparecer os resíduos sólidos ou chamote, resultante das perdas ocorridas após a queima do produto. Os resíduos também aparecem durante a retirada dos tijolos dos fornos para serem encaminhados para o estoque.

A seguir no Gráfico 01 indicam-se os levantamentos das temperaturas, realizados em dois fornos com capacidades diferentes. Com o objetivo principal de indicar as temperaturas de queima e o tempo para atingir a temperatura máxima utilizada nos fornos da Cecal, procurou-se mostrar o desempenho de cada forno, como cada um deles se comporta até atingir sua temperatura de queima e quanto tempo foi necessário para queimar cada lote do produto. A temperatura máxima atingida pelo forno de número sete foi de 934°C às 11h00, já o forno de número dois, atingiu a temperatura máxima de 964°C às 23h00, devido ao fato de ser um forno com maior capacidade interna o tempo para chegar a temperatura ideal de queima foi um pouco maior.

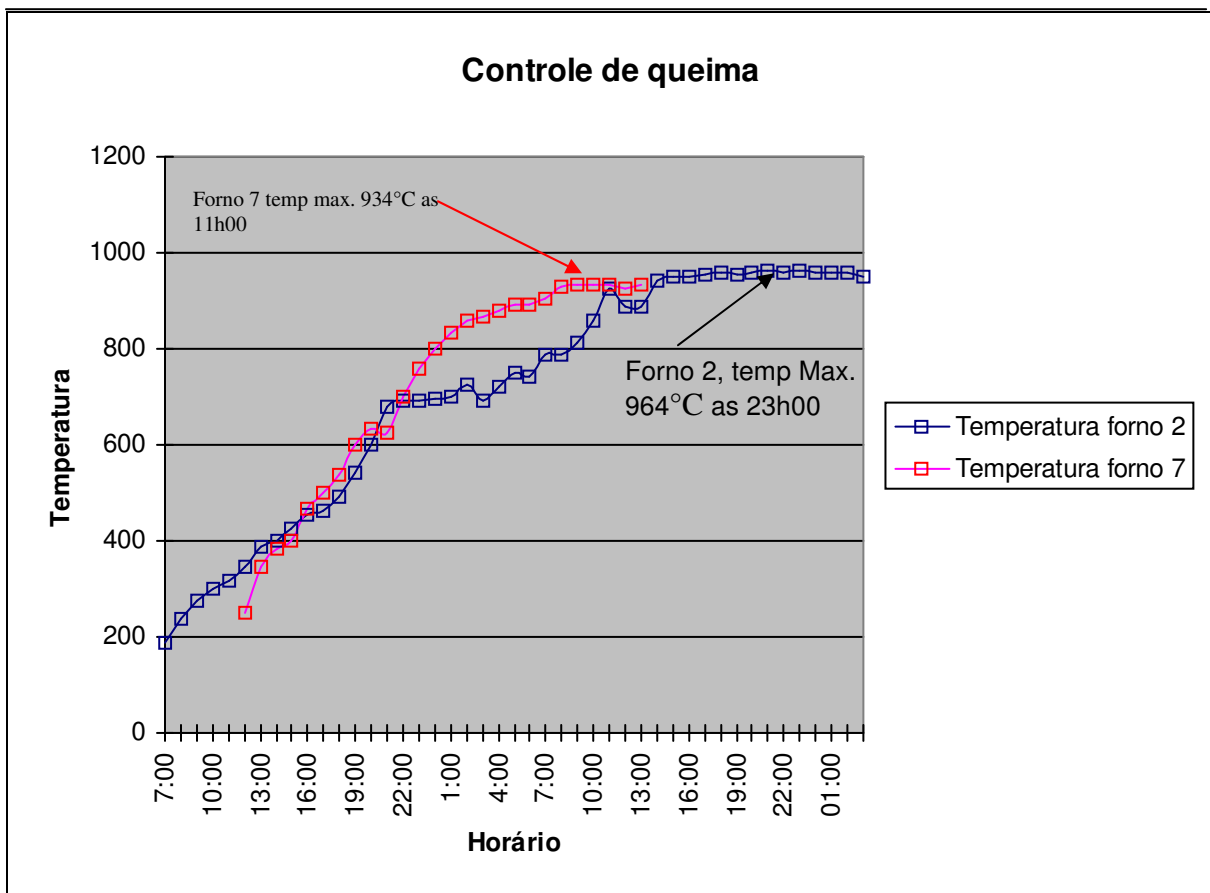


Gráfico 01: Controle de temperatura em um dia de queima (Março, 2007).

A seguir a Tabela 06 exemplifica os valores do Gráfico 01, indicando as temperaturas de cada forno respectivamente.

Tabela 06: Controle de temperatura. Indústria Cecal (Maio, 2007).

Horário	Temp. forno 2	Temp. forno 7	Horário	Temp. forno 2	Temp. forno 7	Horário	Temp. forno 2	Temp. forno 7
7:00	187	--	22:00	690	700	13:00	889	932
8:00	238	--	23:00	693	760	14:00	940	--
9:00	273	--	00:00	695	800	15:00	949	--
10:00	300	--	01:00	700	835	16:00	950	--
11:00	315	--	02:00	725	860	17:00	955	--
12:00	344	251	03:00	690	866	18:00	960	--
13:00	386	345	04:00	720	880	19:00	953	--
14:00	400	382	05:00	748	890	20:00	957	--
15:00	424	400	06:00	742	892	21:00	962	--
16:00	456	467	07:00	787	905	22:00	959	--
17:00	462	500	08:00	788	929	23:00	964	--
18:00	490	538	09:00	811	934	00:00	958	--
19:00	540	600	10:00	860	933	01:00	959	--
20:00	600	635	11:00	926	934	02:00	958	--
21:00	680	625	12:00	888	927	03:00	950	--

### 3.3 Coleta das amostras de argilas

A coleta das amostras foi realizada pelo proprietário da olaria no pátio de estocagem da cerâmica Cecal, de acordo com Santos (1989), que indica procedimentos para a amostragem preliminar de argilas para ensaios cerâmicos.

Os procedimentos de coleta foram, por meio de escavação manual (pá), que permitiu a retirada em frações iguais e sistêmicas, a fim que a amostra fosse retirada com a mesma frequência, de forma que a umidade da amostra bruta correspondesse à umidade da amostra de embarque ou desembarque.

Das diversas partes do estoque de argila, foram retiradas frações de aproximadamente 5 kg cada uma, de modo que pelo menos a metade das frações foram retiradas do terço inferior do material em estoque e que a outra metade das frações foram retiradas dos terços restantes da matéria-prima em estoque.

As amostras retiradas não corresponderam, em peso, ao equivalente a menos de 1% do total de embarque/desembarque da matéria-prima.

Após a coleta, as amostras de argila bruta (várzea + taguá) foram homogeneizadas e foram separados 50 kg de argila de várzea e 50kg de argila de tágua por quarteamento, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e enviadas para ensaios do laboratório (SANTOS, 1989).

As argilas receberam as denominações de SMG01 (argila de várzea), SMG02 (argila de taguá). As iniciais que precedem a numeração foram as primeiras letras do nome São Miguel do Guamá, de modo que a identificação indicou o local de coleta e número da amostra, respectivamente. A Foto 11 e 12 identificam-se o local de retirada das amostras, os procedimentos de coleta e preparação de amostra na indústria Cecal.



Foto 11: Local de coleta de argila (2007).



Foto 12: Preparação da argila (2007).

### 3.4 Preparação das amostras argila

Os ensaios de caracterização das argilas, de acordo com a NBR 6457/86 foram realizados no laboratório Tecnológico da UFPA, e foram observadas as seguintes etapas:

a) Secagem: a amostra de argila foi seca ao sol, para poder ser britada e moída, conforme indicado na Foto 13. Para isso foi usado o método MB-233 da ABNT .



Foto 13: Secagem da argila de várzea e de taguá no Laboratório Tecnológico da UFPA (2007).

b) Destorroamento: após a secagem, o material foi destorroado manualmente, com martelo de madeira e feita a britagem quando necessário. Para isso foi usado o método MB-233 da ABNT (NBR 6457).



c) Peneiramento: todo o material foi submetido à peneira nº 4 (malha com abertura 4,8mm).

d) Britagem: a amostragem pesando cerca de 50kg, depois de secada ao ar, foi fragmentada e processada em britador de mandíbulas.

e) Quarteamento: o material foi reduzido até obtenção de uma amostra representativa, isto é, em quantidade suficiente para a realização dos ensaios requeridos.

f) Secagem: o material foi secado em estufa com temperatura de 40°C, durante 1h, no laboratório de Engenharia Química da UFPA, conforme ilustrado na Foto 14.



Foto 14: Material em estufa para secagem (2007).

### 3.4.1 Preparação da Chamote

A preparação da chamote consistiu em três etapas básicas:

**a) Separação:** A chamote resultante da perda após a queima, retirada dos fornos, do transporte de estocagem ou do carregamento dos caminhões. Esse material foi separado, ensacado e transportado pelo produtor para a UFPA.

**b) Moagem:** O material foi processado no moinho bola do laboratório Tecnológico da UFPA, de maneira a poder passar na peneira de nº 4 (malha com abertura 4,8 mm).

**c) Secagem:** O material foi secado em estufa com temperatura de 40°C, durante 1h, no laboratório de Engenharia Química da UFPA. A Foto 15 exemplifica o material para secagem na estufa.



Foto 15: Material para secagem em estufa (2007).

### 3.5 Ensaio cerâmicos

#### 3.5.1 Preparação das Amostras

As amostras foram pesadas de acordo com as porcentagens desejadas para o ensaio cerâmico e misturadas, resultando em uma amostra de aproximadamente 20 kg. Essa amostra foi umedecida até atingir um teor de umidade (aproximadamente de 20% a 25% de água) e de plasticidade adequado, que permitiu a moldagem por extrusão. A amostra permaneceu acondicionada em sacos plásticos e em repouso por um período mínimo de 24 horas, para assegurar a homogeneização da umidade.

### 3.5.2 Moldagem de corpos de prova

**a) Moldagem dos corpos de prova por extrusão:** as amostras foram previamente umedecidas e colocadas na maromba, para moldagem de corpos de prova por extrusão (Foto 16 e Foto 17), com aplicação de vácuo de 500 mm de Hg. Os ensaios foram feitos em quatro porcentagens diferentes, e para cada porcentagem moldaram-se pelo menos 10 corpos de prova com dimensões 100X20X10mm, totalizando 120 corpos queimados a temperatura de 950°C, 1000°C e 1050°C respectivamente. Depois de moldados, todos os corpos de prova foram identificados, pesados e marcados com sinais espaçados 80 mm entre si, para posterior determinação das retrações de secagem e queima.



Foto 16: Corpo de prova depois de extrusado (2007).



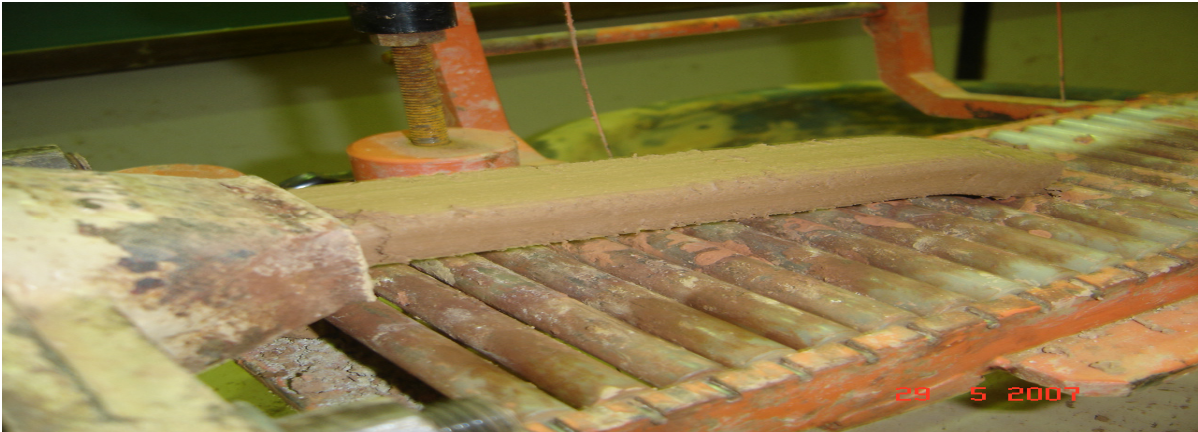


Foto 17: Massa cerâmica saindo da extrusora (2007).

**b) Secagem:** os corpos de prova foram colocados em uma bandeja metálica segundo a face maior envoltos por 48 horas em pano umedecido com água, devendo ter sua posição trocada a cada 12 horas, para evitar empenamento proveniente de secagem diferencial. Ao término desse período, os corpos foram expostos ao ar para secagem, sendo apoiados sobre prateleiras de madeira segundo a face maior. Quando não mais apresentaram manchas escuras, eles foram colocados em estufa elétrica a 40°C, por no mínimo 6 horas. Foto 18, Corpos de prova colocados na estufa.



Foto 18: Corpos de provas colocados na estufa para secagem a 105°C (2007).

Na seqüência, a temperatura da estufa foi regulada a 50°C por uma hora, a 60°C por mais uma hora e a 70°C por, no mínimo, 6 horas. Aumentou-se, então, a temperatura da estufa para 105°C  $\pm$  5°C, sob a qual permanecem os corpos de

prova por, no mínimo, 6 horas (Foto 18). Desligou-se a estufa para esfriar os corpos de prova por 2 horas, até  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ .

Ao término dessa etapa, os corpos de prova foram colocados para esfriar completamente, para posteriormente serem pesados (peso seco) e medidas as marcas de referência, para o cálculo da retração linear de secagem, conforme expresso na equação 3.

**c) Queima:** procedeu-se a queima dos 40 corpos de prova para cada uma das temperaturas:  $950^{\circ}\text{C}$ ,  $1000^{\circ}\text{C}$  e  $1050^{\circ}\text{C}$ , com taxa de elevação da temperatura variando na primeira hora de  $0^{\circ}\text{C}$  até a temperatura solicitada e patamar de queima de 5 horas de duração (Foto 19)

Ainda que realizado sem controle, o resfriamento foi lento, deixando-se a temperatura cair naturalmente, sem abertura do forno antes que a temperatura interna (do forno) se estabilizasse em torno de  $60^{\circ}\text{C}$ . (Foto 20). O forno utilizado foi o *Elebtro Lim Elektro Therm*, de temperatura até  $1300^{\circ}\text{C}$ .



Foto 19: Corpos de provas antes da queima (2007).



Foto 20: Corpos de prova após resfriamento dentro do forno (2007).

**d) Ensaios cerâmicos:** nessa pesquisa foram realizados os seguintes ensaios cerâmicos:

- Determinação da Porosidade Aparente após a queima (MÉTODO IPT (1990), SANTOS, (1964));
- Determinação da Absorção de Água após a queima (MÉTODO IPT (1990), SANTOS, (1964));
- Determinação de Retração linear de queima (MÉTODO IPT (1990), SANTOS, (1964));
- Densidade após a queima (MÉTODO IPT (1990), SANTOS, (1964));
- Determinação da tensão de ruptura a flexão após a queima (MÉTODO IPT (1990), SANTOS, (1964));
- Determinação da perda ao fogo (MÉTODO IPT (1990), SANTOS, (1964));
- Determinação da cor (SANTOS, 1989).

**e) Ensaios após queima sob as diferentes temperaturas:** os corpos de prova, depois de queimados às quatro temperaturas, foram submetidos aos ensaios de:



- **Porosidade aparente:** é a porcentagem das relações entre o peso úmido da amostra menos o peso seco, dividido pela relação do peso úmido menos o peso imerso da amostra.

- Equação 1: Porosidade aparente

$$Pa = \frac{(Pu - Ps)}{(Pu - Pi)} \times 100$$

Onde:

Pa = porosidade aparente (%)

Pu = Massa do corpo de prova úmido

Ps = Massa do corpo de prova seco

Pi = massa do corpo de prova saturado e imerso em água (g)

Na Foto 21, os corpos de prova estão mergulhados em água para a determinação do peso úmido, já na Foto 22 visualiza-se a pesagem dos corpos imersos, para determinação da porosidade aparente.

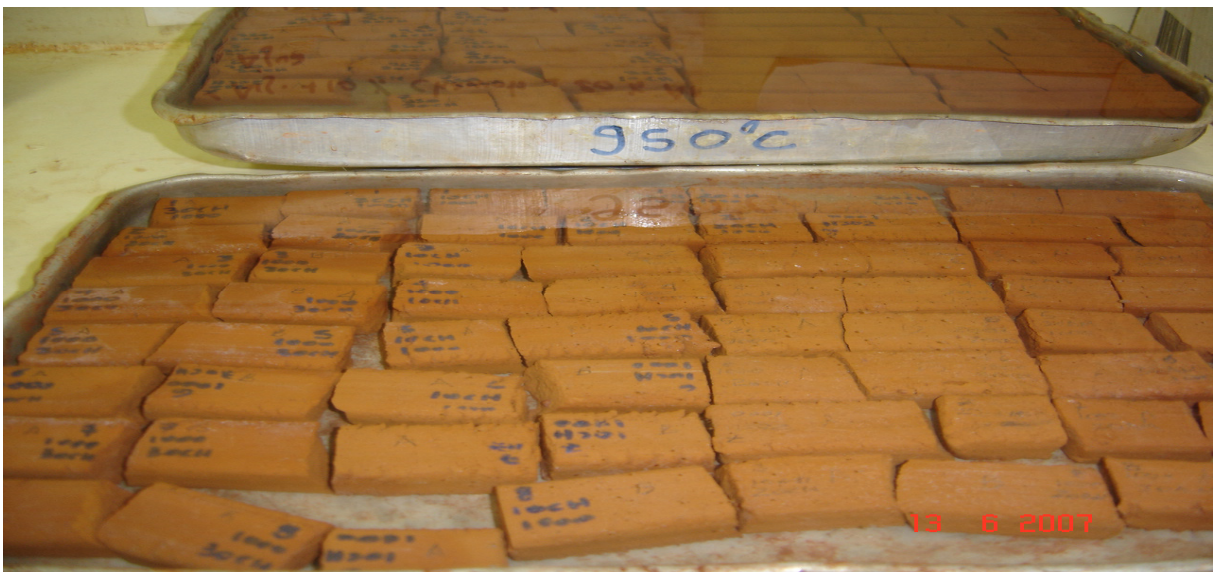


Foto 21: Corpos de prova imersos (2007).



Foto22: Medindo o peso imerso (2007).

- **Umidade de conformação:** ou absorção de água é a relação entre o peso úmido menos o peso seco, dividido pelo peso seco. Expressa pela equação 2.

Equação 2: Umidade de conformação

$$A_a = \frac{(P_u - P_s)}{P_s} \times 100$$

Onde:

$A_a$  = absorção de água (%)

$P_u$  = peso do corpo de prova úmido após moldagem (g)

$P_s$  = peso do corpo de prova seco a 105° C (g)

- **Retração linear de secagem:** é a relação entre o comprimento inicial antes da secagem e o comprimento final após a secagem, dividido pelo comprimento inicial.

Equação 3: Retração linear de secagem

$$Rls = \frac{L - Ls}{L} \times 100$$

Onde:

Rls = retração linear de secagem a 105 °C (%)

L = medida linear inicial do corpo de prova (mm)

Ls = medida linear do C.P. após secagem a 105 °C (mm)

- **Densidade:** é a relação entre a porosidade aparente, dividida pela absorção de água.

Equação 4: Densidade

$$D = \frac{Pa}{Aa}$$

Onde:

D: densidade

Pa: porosidade aparente

Aa: absorção de água

- **Tensão de ruptura a flexão:** os corpos de prova foram ensaiados a flexão, na condição de bi-apoiado, com aplicação de uma carga concentrada no ponto médio do vão livre, A Figura 06 mostra um esquema da tensão de ruptura a flexão e a Foto 13, o ensaio de ruptura a flexão.

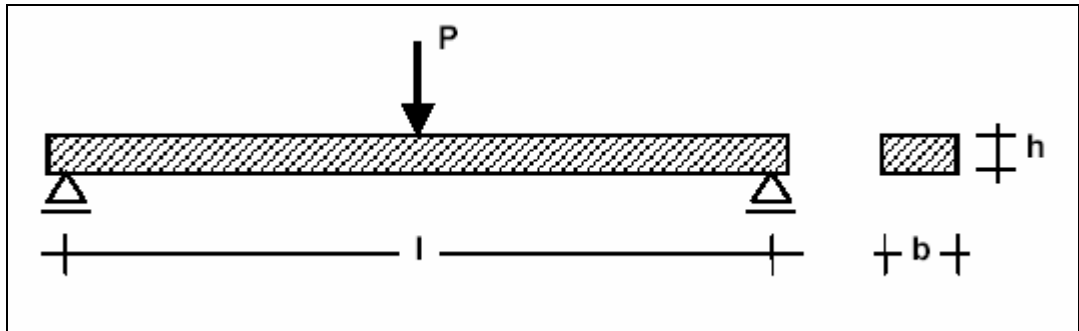


Figura 08 - Modelo de ruptura a flexão.

O cálculo da tensão de ruptura a flexão é expresso pela equação 5:

Equação 5: Tensão de ruptura a flexão:

$$Trf = \frac{3 (X/Y) AZ}{2 B h^2}$$

Onde:

Trf = tensão de ruptura à flexão após secagem (MPa)

A = massa de água (kg)

b = largura do corpo de prova (cm)

h = altura do corpo de prova (cm)

X = distância entre o eixo e a extremidade da prensa = 73,5 (cm)

Y = distância entre o ponto de apoio do corpo de prova e a extremidade da prensa = 19,5 (cm)

Z = distância entre o ponto de apoio do corpo de prova = 6,5 (cm)

Na verificação das tensões de ruptura dos corpos de prova após queima, foram utilizadas: uma prensa manual fabricada para o laboratório de Engenharia Química da UFPA, criada pelo professor Roberto Neves, conforme pode ser observado na Foto 23.



Foto23: Prensa para teste de tensão de ruptura a flexão. Laboratório de Engenharia Química UFPA (2007).

- **Perda ao fogo:** é expressa pela relação entre a massa do corpo de prova seco menos a massa do corpo de prova após a queima, dividida pela massa do corpo de prova seco.

Equação 6: Perda ao fogo

$$Pf = \frac{Ws - Wq}{Ws} \times 100$$

Onde:

Pf = perda ao fogo (%)

Ws = massa do corpo de prova seco

Wq = massa do corpo de prova após queima



### 3.6 Análise química

As análises químicas das argilas com a adição de chamote foram feitas primeiramente no Laboratório de Engenharia Química da UFPA, onde foram realizadas as decomposições das amostras e a determinação do silício por metodologia gravimétrica com a utilização de ácido clorídrico.

Depois de decompostas as doze amostras, mais quatro replicações, foi utilizado o Laboratório Geociências da Universidade Federal do Pará para as determinações dos seguintes elementos químicos principais: Alumínio que utiliza a técnica tritrimétricas do alumínio com E.D.T.A (por volumetria), determinação espectrométrica do ferro total com ortofenantrolina, determinação espectrométrica do fósforo através do complexo amarelo vanadato-molibdato de amônio, e determinação espectrométrica do titânio com peróxido de hidrogênio e H<sub>2</sub>O (perda ao fogo), determinada pela calcinação a 1000°C, até a constância de massa. ((BENNETT, *et al.*,(1971), MAXWELL, (1968), REEVES, *et al.*, (1978), SANDELL, (1958), VOGEL, (1969)).

O equipamento de espectrometria utilizado foi o *Beckman – Du-06 - Spectrophotometer, Scientific Instruments Division Model – Du 06*.

### 3.7 Absorção Atômica

Determina a composição química da substância baseada na medição do grau de variação de uma propriedade física, ou seja, energia radiante em interação com a matéria. Utilizou-se de métodos espectro-analíticos, que mede a energia radiante em forma de radiação eletromagnética.

Prepararam-se um total de doze amostras mais duas de replicações. Para a abertura das amostras pesou-se aproximadamente 0,2g para cada cadinho e adicionou-se uma solução 10:1 do reagente de hipoclorito de flúor com perclorito de cloro. Após a evaporação da sílica, prepararam-se 14 balões de 100ml com uma solução com concentração de 10 vezes com água deionizada.

Essas amostras foram separadas em 28 frascos. Destes 28 frascos, 14 deles foram colocados 01ml de césio (Cs) mais 10ml de cada amostra e 14 foram adicionados 02ml de estrôncio (Sr) mais 10ml de cada amostra.

Com as amostra prontas, preparou-se o ajuste do equipamento para a leitura da curva de absorbância padrão, com soluções de concentrações padrões existentes no laboratório.

As primeiras leituras para determinação dos elementos sódio, cálcio, magnésio, potássio, manganês e ferro total foram feitas, resultando em valores acima da curva de calibração padrão de cada elemento, desta forma necessitou diluir cada amostra em mais 5 vezes, ou seja, em um balão de 50ml.

Nesse sistema de leitura representou-se a razão entre o feixe de referência e o feixe da amostra.

### **3.8 Difração de raios-X**

Os ensaios de difração de raios-X foram realizados no Laboratório de Difração de raios-X, do Departamento de Geociências, da Universidade Federal do Pará, utilizando-se as técnicas de amostras orientadas. As amostras foram pulverizadas e colocadas nas lâminas com amostra natural, e amostra mais chamote.

O equipamento utilizado foi Panalytical diffractometr type PW 3710.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo tem como um dos seus principais objetivos realçar a importância dos resultados alcançados nesta dissertação, pois sintetiza as informações coletadas ao longo das fases anteriores e estabelece parâmetros para a concepção de um novo produto.

Após o aprofundamento no que tange os conceitos sobre a cerâmica vermelha e sobre chamote, e seguindo uma metodologia de trabalho indicada no capítulo anterior, pode-se obter resultados e analisar as melhores alternativas para a utilização de chamote no processo industrial.

Este capítulo está subdividido em sete seções.

Na seção 4.1, são abordadas as perdas ao longo do processo produtivo. Foram levantados os índices de perdas nos meses de Março, Abril, Maio, e Junho, com o objetivo de demonstrar tanto quantitativamente como economicamente os valores que se perdem ao longo do processo produtivo.

A análise granulométrica é explicada na seção 4.2; esta análise tem como objetivo principal determinar as características da massa cerâmica existente na região.

Já a seção 4.3 explica o processo onde os corpos de prova da massa cerâmica mais a chamote em diferentes porcentagens foram extrusados e moldados. Neste item foram realizados os ensaios físicos das amostras extrusadas, os quais tem como resultados principais índices de absorção de água, porosidade, massa específica aparente, retração de secagem, retração após queima e tensão de ruptura a flexão.

Na seção 4.4 foram feitas as análises da composição química de cada amostra com diferentes porcentagens de massa cerâmica mais chamote. Essa análise permitiu determinar a porcentagem que cada amostra tem de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e a porcentagem na perda ao fogo. Com a identificação das porcentagens em cada amostra pode-se determinar em que tipo de produto final ela poderá ser usada.

Já na seção 4.5, foram realizados os ensaios de absorção atômica. Estes ensaios indentificam as porcentagens dos óxidos como  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ , existentes em cada combinação de massa cerâmica mais chamote analisada.

A identificação da existência destes óxidos é importante, pois indica em quais produtos poderia ser utilizada esta matéria-prima.

Na seção 4.6 foram realizados os ensaios de difração de raios-X, os quais identificaram a estrutura cristalina da massa cerâmica mais a chamote, mostrando as alterações de sua estrutura cristalina com a variação da temperatura de queima. É importante salientar que a estrutura cristalina da matéria-prima analisada mostra de que forma a matéria-prima utilizada irá influenciar no comportamento das características físicas do produto resultante.

A seção 4.7 mostra que com a inclusão da chamote à massa cerâmica, o resultado da nova mistura possui superioridade em relação às propriedades físicas da massa original, possibilitando um produto final de maior qualidade e maior valor agregado.

#### **4.1 Perdas da Produção**

Após um estudo minucioso do fluxo de produção na indústria Cecal, pode-se identificar em quais partes do processo ocorrem as maiores perdas do produto final. O objetivo é mostrar a percentagem da produção de tijolos tamanhos 9x14x19 que é perdida durante o processo industrial.

Sendo assim, procurou-se mediante de um planejamento junto com a diretoria e funcionários da empresa Cecal aplicar uma estratégia de levantamento diário durante os meses de março, abril, maio e junho das perdas após a queima do tijolo e das perdas durante o transporte do produto finalizado para o estoque e para os veículos de transporte.

No Gráfico 02, indicam-se as perdas, ou resíduos sólidos (chamote), registradas no mês de junho 2007 para medições das perdas realizadas em três dias do mês de junho nos fornos 01, 02, 03 de maneira aleatória.

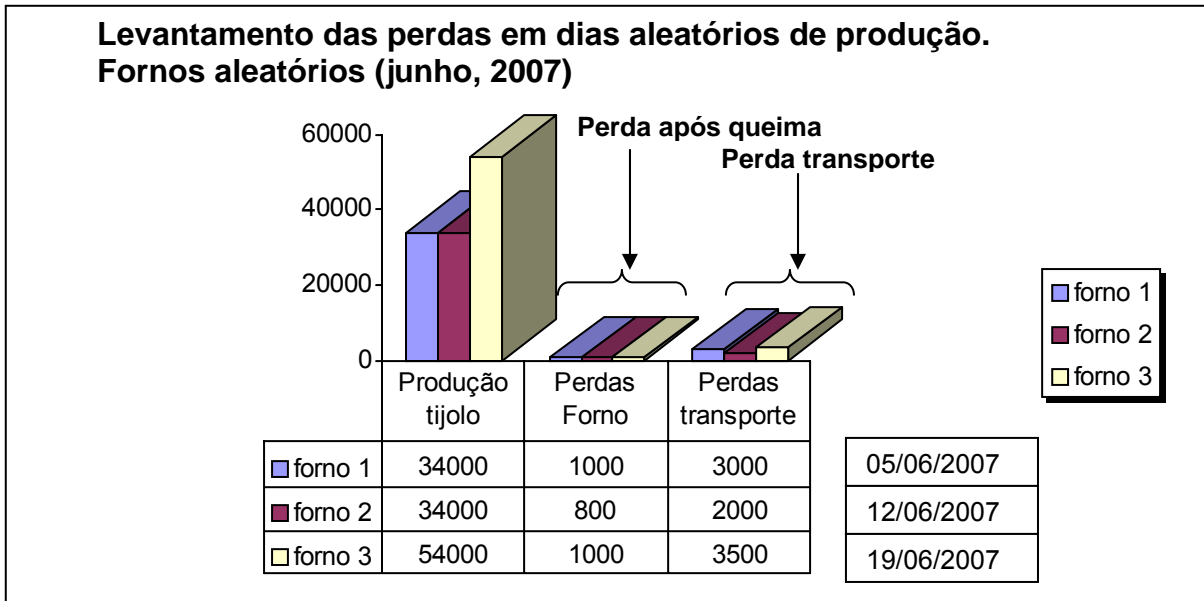


Gráfico 02: Perdas após a queima e transporte até estoque. Indústria Cecal (Junho, 2007).

Por meio do Gráfico 02 conclui-se que com uma produção total de 122000 tijolos se tem uma perda de 2,30% nos fornos e de 6,97% no transporte para o estoque e para os veículos de transporte. Totalizando uma perda total de 9,27%.

No Gráfico 03 apresenta-se um levantamento das perdas totais, ou seja, as perdas que ocorreram após a queima e durante o transporte dos tijolos nos meses de março, abril, maio e junho (2007).

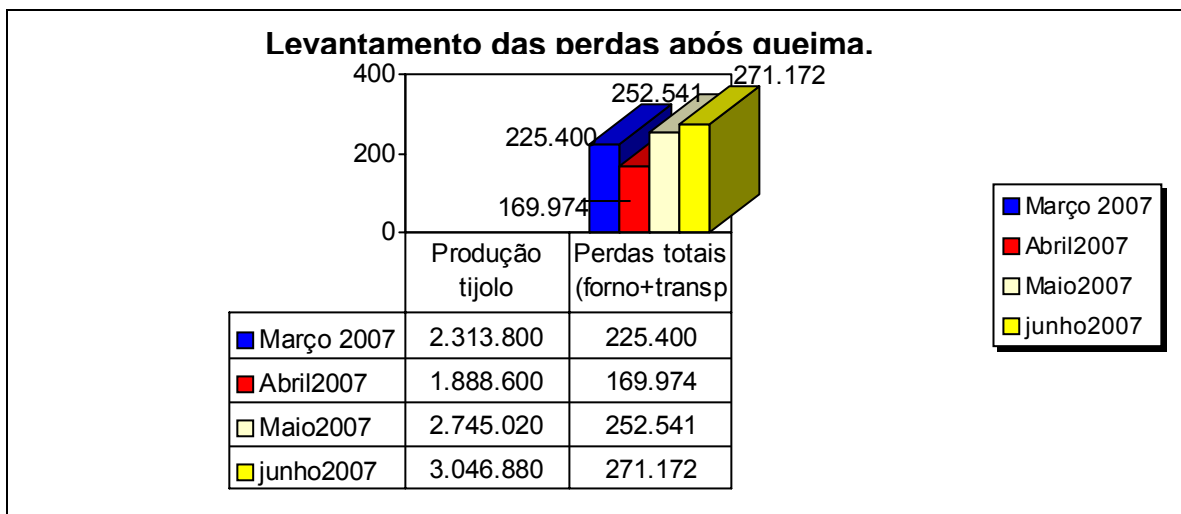


Gráfico 03: Levantamento de perdas após queima na Indústria Cecal (2007).

Analisando os Gráficos 02 e 03 conclui-se que as perdas totais chegam em torno de 8% a 11% da produção. Estas perdas além de reduzir o lucro do empresário serão descartadas diretamente na natureza gerando uma agressão visual e provocando o desperdício de matéria-prima. Seria de grande valor uma solução que pudesse além de reciclar o material, utilizar o mesmo em produtos com valor agregado maior que o tijolo.

Conseqüentemente, através de uma solução apropriada beneficiaremos a natureza com uma possível redução de extração de matéria-prima e diretamente estaremos diminuindo a agressão ao meio ambiente pelo seu descarte.

#### **4.2. Análise Granulométrica**

A análise granulométrica constitui importante ferramenta para o processamento da cerâmica vermelha já que, de acordo com a granulometria da argila, pode-se prever sua recomendação para fabricação de determinados tipos de produtos ou na necessidade de mistura com outras matérias-primas. Após o peneiramento da amostra, a quantidade que for composta por partículas menores da fração 2 $\mu$ m é classificada como argilominerais de acordo com a Figura 09.

Os argilominerais apresentam maior plasticidade, que por um lado é benéfica no sentido de obtenção de peças com maior resistência mecânica e menor desgaste para os equipamentos de preparação e conformação da massa-cerâmica.

Para a determinação granulométrica foram utilizados os resultados do estudo de um trabalho de conclusão de curso intitulado “Estudo Geoeconômico e Tecnológico das Argilas Utilizadas na Indústria Cerâmica dos Municípios de São Miguel do Guamá e Irítuia, Nordeste do Estado do Pará” (LIMA, 2000).

As três amostras consideradas no estudo acima foram coletadas em São Miguel do Guamá, na região de extração de matéria-prima da cerâmica Cecal e as amostras são: SAL-05-A, SAL-05-B, SAL-05-C.

Na determinação mineralógica foram utilizadas as três amostras enumeradas acima. As amostras selecionadas, pesando cada uma 100g, foram inicialmente secas ao ar livre e desagregadas manualmente. Em seguida foi feito o peneiramento (peneira de 0,062mm) onde cada amostra foi dividida em duas frações (areia e

pelítica). A fração pelítica, composta de silte e argila, foram separadas em duas outras frações pelo processo de centrifugação (LIMA, 2000).

Para uma comparação granulométrica entres as escalas principais das dimensões sólidas em solo, utilizou-se a escala do *Road Research Laboratory* de 1956, conforme indicado na Figura 09.

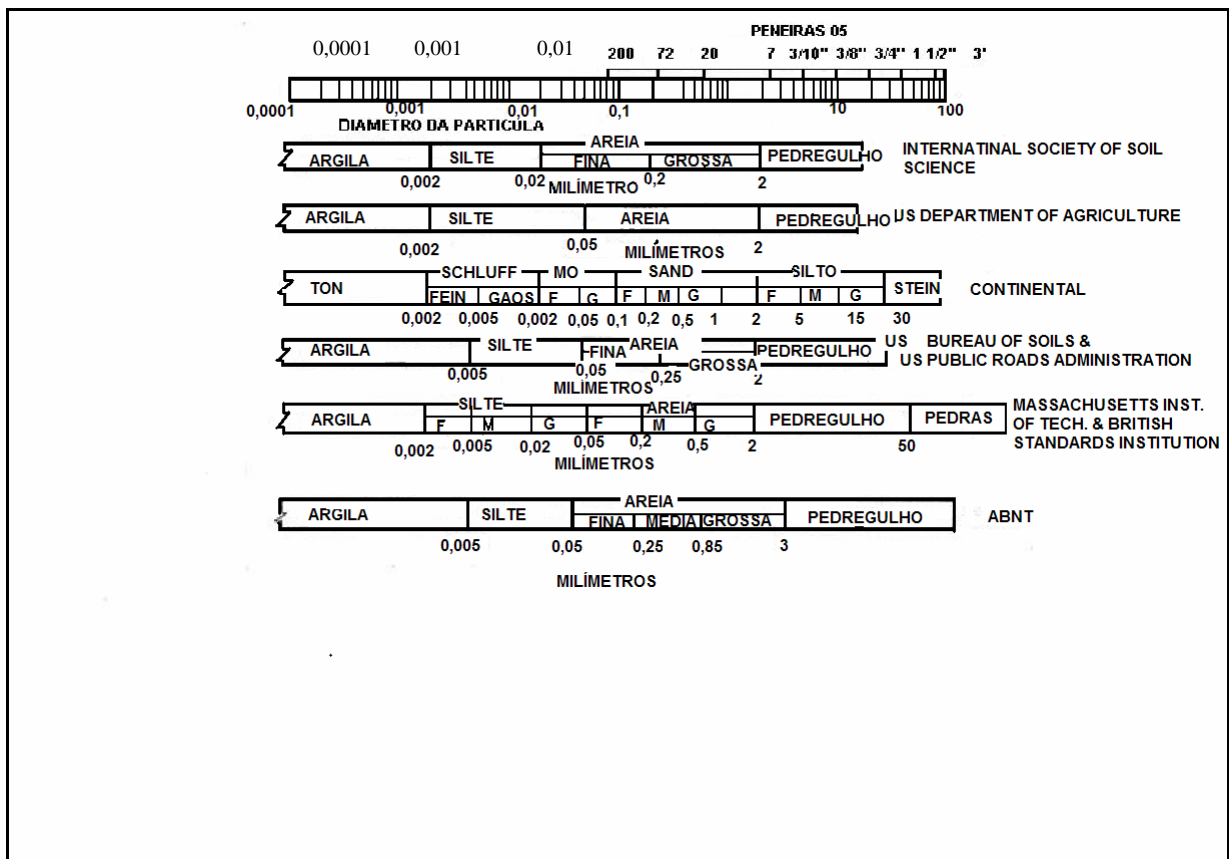


Figura 09: *Road Research Laboratory*, (1956).

De posse de cada amostra de 100g, e após a separação da fração areia, silte e argila determinou-se o grau de participação de cada um desses elementos conforme indicado na Tabela 07. Nesta tabela podemos verificar que em cada amostra analisada, existe uma quantidade considerável de argila, o que determina adequada trabalhabilidade para a fabricação de cerâmica vermelha (Santos, 1989).

Tabela 07: Granulometria das amostras de argila do município de São Miguel do Guamá.

<b>Amostra</b>	<b>Fração Areia %</b>	<b>Fração Silte %</b>	<b>Fração Argila%</b>
SAL-05-A	0,18	69,64	30,18
SAL-05-B	0,68	76,62	22,70
SAL-05-C	0,24	70,44	29,32

Fonte: Lima (2000).

De posse da fração silte e argila, foram confeccionadas lâminas da fração silte, fração argila, e lâminas do total. Foram aquecidas a 50°C e depois glicolada. Esse material foi analisado no laboratório de Difração de Raio-X do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará onde foi determinada a sua mineralogia indicada na Tabela 08 (LIMA, 2000).

Tabela 08: Composição mineralógica das amostras de argila do município de São Miguel do Guamá.

<b>Amostra</b>	<b>Minerais identificados</b>
SAL-05-A	Quartzo, Goethita, Kaolinita e Ilita
SAL-05-B	Quartzo, Goethita e Montmorilonita
SAL-05-C	Quartzo, Goethita, Montmorilonita, Kaolinita e Ilita

Fonte: Lima (2000).

O resultado da Difração de Raios-X, mostrou que o material é constituído essencialmente por Montmorilonita, Kaolinita, Ilita, Quartzo e Goethita. Os dois últimos são predominantes na fração Silte (0,02 a 0,002mm) enquanto que a fração argila (<0,002mm) é composta principalmente por Montmorilonita, Kaolinita e Ilita em menores quantidades (LIMA, 2000).

Caracterizar uma argila, especialmente visando o seu uso tecnológico, é conhecer a variabilidade de suas propriedades. Para isso necessita medir as propriedades físico-mecânicas, análises químicas, absorção atômica e difração de raios-x.

Conhecendo esses conjuntos de valores e propriedades, é possível prever com segurança, a utilização da argila nos diversos produtos industriais. Portanto na



próxima seção será vista a análise física das amostras analisadas nessa dissertação.

### **4.3 Análise Física**

Os ensaios físicos-mecânicos para determinação de valores numéricos visam estabelecer uma classificação de argilas em subgrupos cerâmicos correspondentes aos vários tipos de empregos cerâmicos, comparando esses valores com valores de referência, onde os resultados encontram-se dentro dos padrões da NBR.

Os ensaios cerâmicos foram feitos no laboratório de Engenharia Química da UFPA.

Após os materiais coletados conforme exemplificado no item 3.3, do capítulo de metodologia, as argilas foram extrusados e posteriormente foram preparados 10 corpos de prova para cada percentagem de mistura desejada e para cada temperatura de queima.

Os ensaios foram constituídos de quatro percentagens de misturas. A primeira mistura foi constituída de: 70% argila de várzea + 30% chamote. A segunda mistura foi constituída de: 70% argila várzea + 20% chamote + 10% taguá. Na terceira mistura tivemos a percentagem de 70% argila várzea + 10% chamote + 20% taguá. Finalmente a quarta mistura foi formada por: 70% argila várzea + 30% taguá.

Apresentam-se nos Apêndices A, B, C, D, E, F, G, K, L, M, os resultados totais dos ensaios realizados com essas misturas nas temperaturas de 950°C, 1000°C e 1050°C. Na seqüência desse trabalho serão discutidos cada um desses ensaios isoladamente.

#### **4.3.1 Absorção e Porosidade**

Estes ensaios são ótimos indicadores da qualidade final do produto cerâmico, pois medem o grau de vitrificação obtido na temperatura em que este foi queimado, visto que para uma mesma massa, à medida que aumenta a temperatura de queima,

diminui firmemente a porosidade, melhora grandemente a resistência mecânica e outras características como, por exemplo, resistência à abrasão e ao choque.

Quanto maior o grau de vitrificação na peça, menor a porosidade e maior a resistência à flexão. Conforme o Gráfico 04, podemos observar que as porosidades estão abaixo dos valores máximos de 35% para uma temperatura de 950°C e de 30% para uma temperatura de 1250°C, conforme sugerido por Santos (1989).

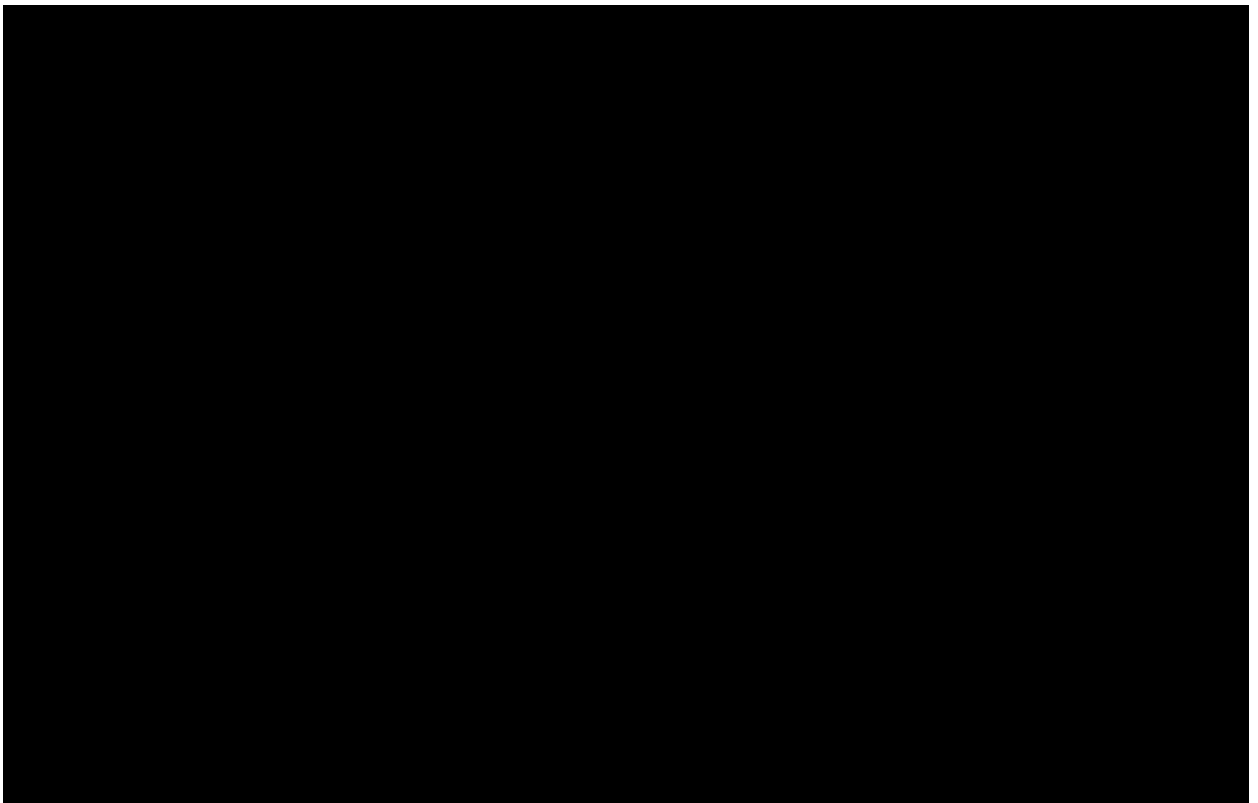


Gráfico 04: Porosidade aparente

A menor porosidade pode ser observada na mistura número 3, ou seja, 70% de argila de várzea mais 20% chamote e 10% de taguá, a uma queima de 1050°C.

No Gráfico 05, que fala sobre a absorção de água, observou que todas as amostras resultaram em valores abaixo do máximo recomendado pelo IPT (SANTOS, 1989). Os valores recomendados para telhas são de 18% e para blocos cerâmicos é de 20%. A melhor condição de absorção de água encontrada foi para a mistura número 3, ou seja, 70% de argila de várzea+ 20% chamote e 10% de taguá, com uma queima de 1050°C, que atingiu o valor de 9,77% de absorção de água

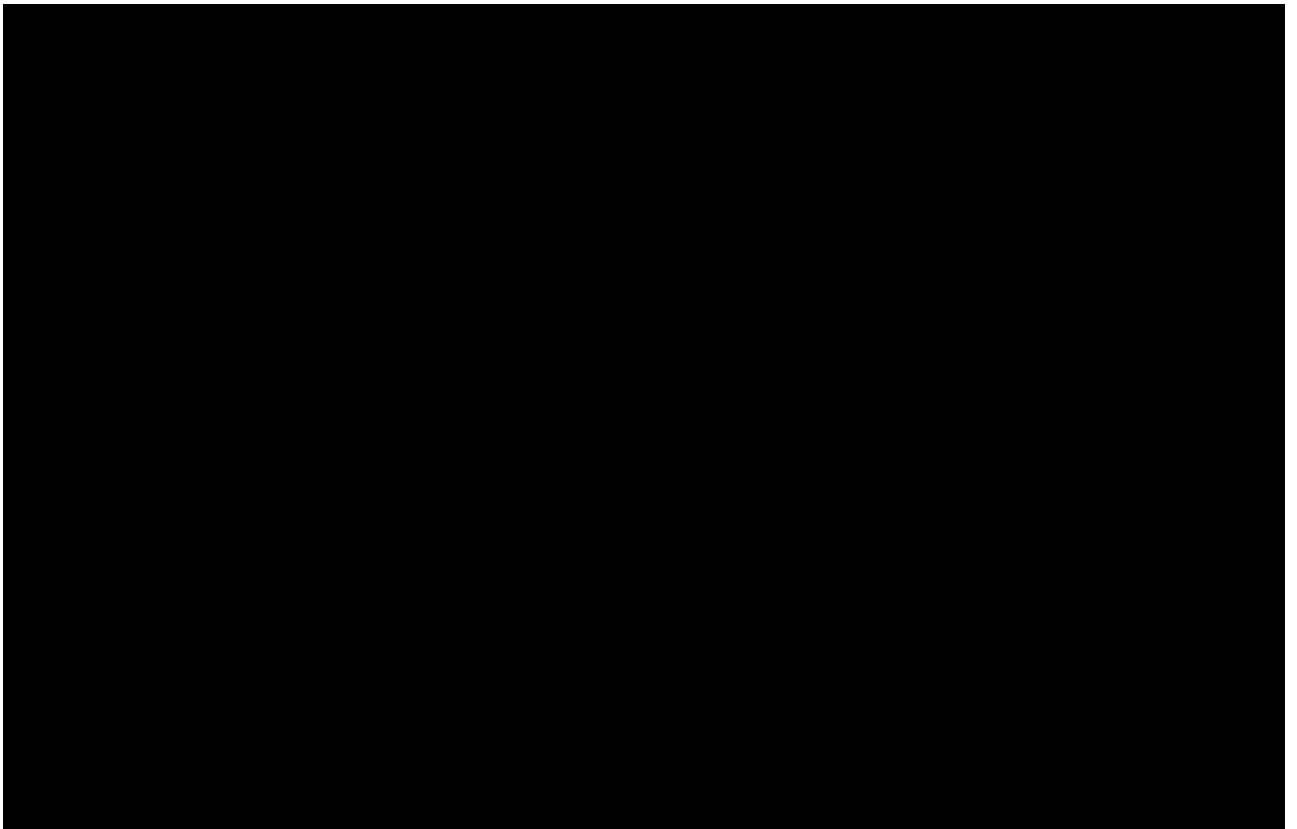


Gráfico 05: Absorção de água.

#### 4.3.2 Densidade

De acordo com Santos (1989), a densidade máxima permitida para a cerâmica vermelha, fica abaixo de 2,7%. No experimento em evidência todas as amostras estiveram dentro do valor permitido, as duas maiores densidades ficaram com a mistura 3, ou seja, 70% de argila de várzea mais 20% chamote e mais 10% de taguá, com 2,18% a uma queima de 1000°C e 2,11% a uma queima de 1050°C, respectivamente.

O Gráfico 06 indica as densidades aparentes de cada mistura.

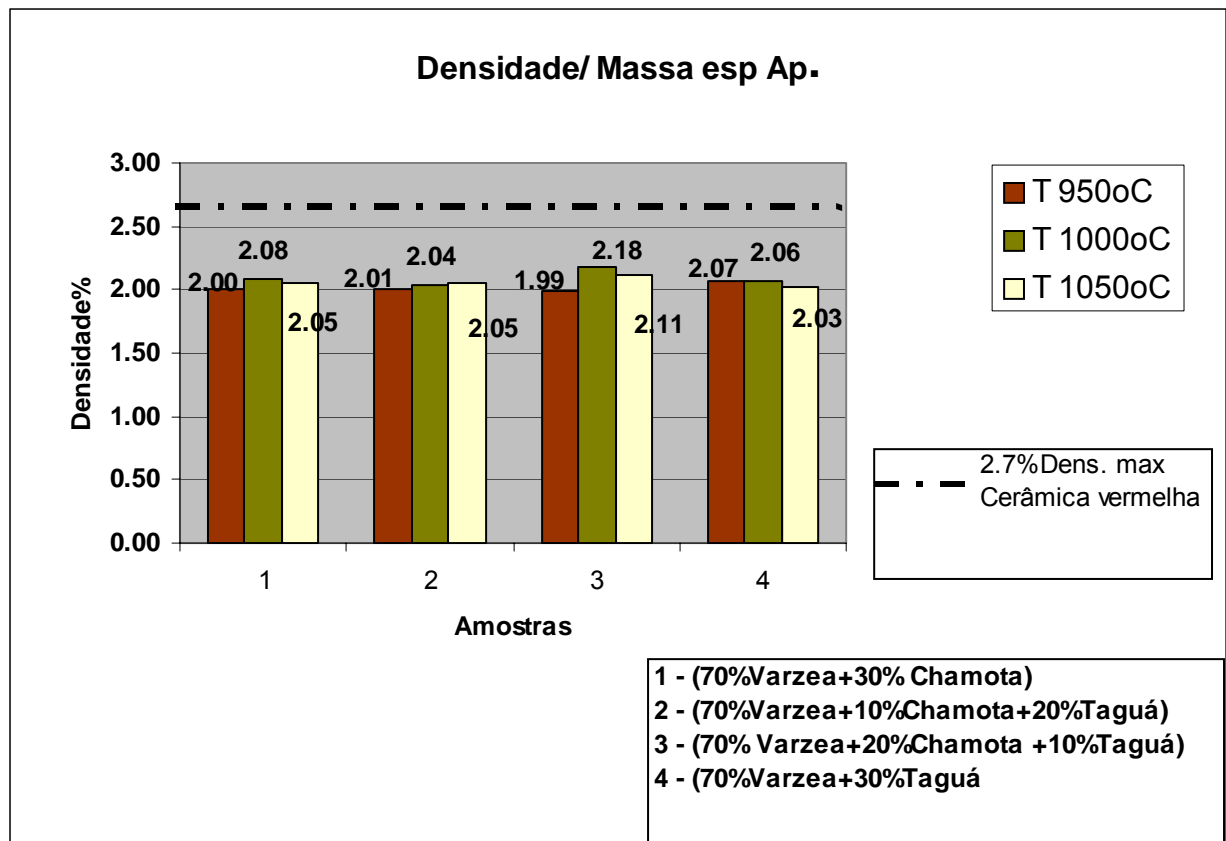


Gráfico 06: Densidade aparente.

#### 4.3.3 Retração de secagem e retração após queima

**Retração de secagem:** As faixas de variação de retração nas misturas com ou sem chamote para as temperaturas de secagem de 105°C estão apresentadas no Gráfico 07.

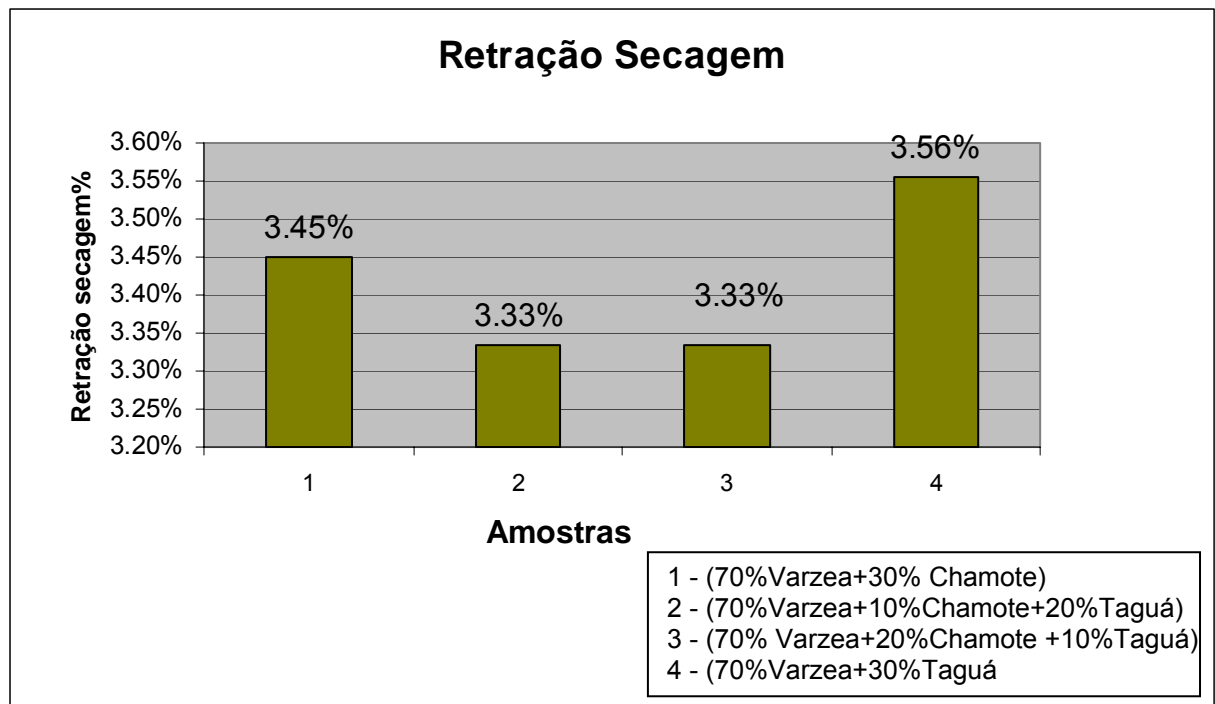


Gráfico 07: Retração de secagem

A retração de secagem está dentro dos limites aceitáveis de 6%, a maior contração registrada foi na mistura 4 com 70% de argila de várzea e 30% de taguá.

**Retração após queima.** A retração é a tendência que a argila tem em diminuir de volume pela perda de umidade por secagem e queima. Se uma massa cerâmica retrai X% após secagem e queima, pode-se calcular o tamanho que a peça deve ser moldada e cortada para que o produto final atinja o tamanho adequado para venda.

O Gráfico 08 apresenta a retração após a queima de 950°C, 1000°C e 1050°C.

O limite máximo recomendado segundo ABCERAM (2007), para contrações lineares, é que após a queima o índice de contração deve ser inferior a 12%. A matéria-prima que se enquadre nesta recomendação pode ser utilizada em materiais cerâmicos. No Gráfico 08 observamos que todas as amostras atendem esta recomendação.

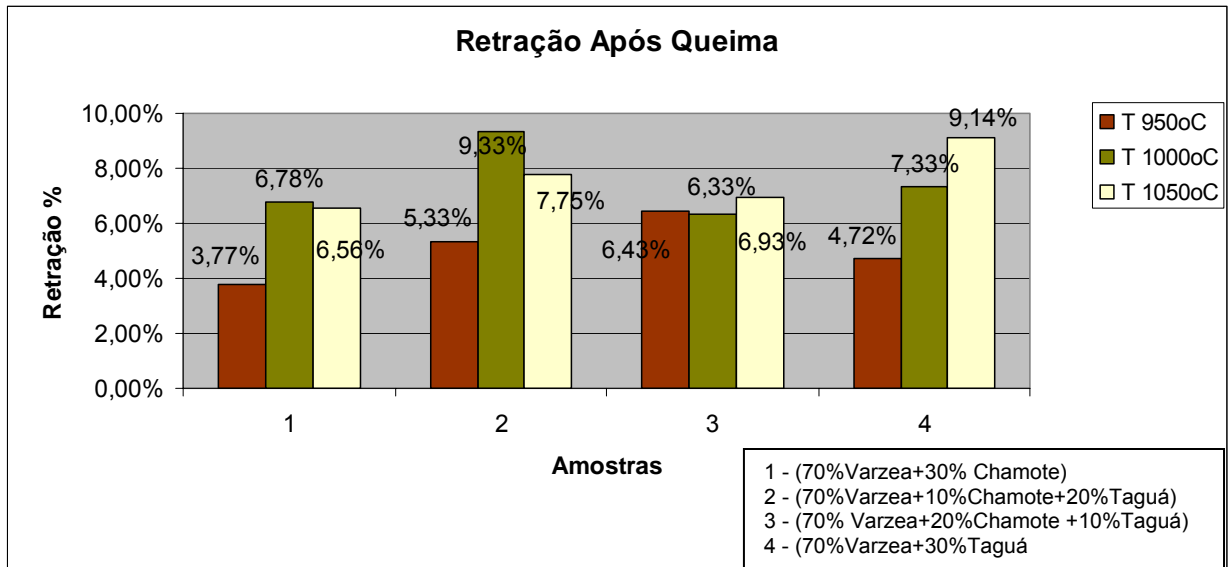


Gráfico 08: Retração após queima

#### 4.3.4 Resistência à flexão após queima.

O conhecimento da resistência mecânica após queima é importante para verificar se o produto final atenderá as especificações requeridas com relação a tensão de flexão. Segundo Santos (1989), a média das tensões de ruptura a flexão para tijolos é de 55kgf/cm<sup>2</sup> e 60kgf/cm<sup>2</sup> para cerâmica.

Os resultados de tensão de ruptura a flexão de cada mistura ficaram dentro dos limites indicados por Santos (1989).

De acordo com o Gráfico 09, a melhor tensão de ruptura foi conseguida com a terceira mistura, ou seja, 70% várzea + 10% chamote + 20 taguá, a uma temperatura de queima de 1050°C.

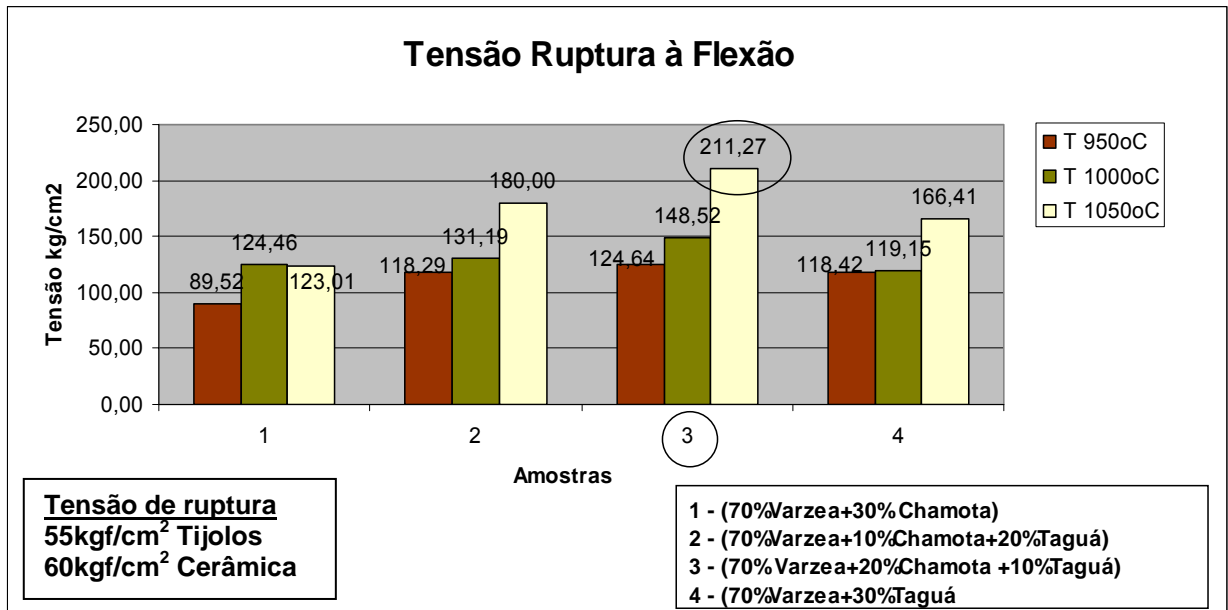


Gráfico 09: Tensão de ruptura a flexão.

#### 4.4 Cor de queima.

Geralmente, os laboratórios que executam ensaios para classificar os possíveis usos de uma argila cerâmica, iniciam o processo realizando um teste preliminar, que consiste em verificar a tonalidade do corpo de prova do material após a sua queima.

Dependendo do resultado, a argila é classificada no grupo da cerâmica vermelha, cerâmica branca ou de refratários.

A cor avermelhada dos corpos de prova tem relação com o teor de  $Fe_2O$  no material (VIEIRA *et al.*, 2004).

Nas amostras realizadas em laboratório obtivemos com regularidade a cor vermelho alaranjado escuro (V. Alaj. Esc.), devido ao elevado teor de ferro encontrado em cada mistura de massa-cerâmica mais chamote, conforme indicado na Tabela 09 do item 4.6 intitulada análise química.

#### 4.5 Análise química

A análise química foi realizada com o objetivo principal de avaliar em cada amostra os teores de composição mineralógica de cada elemento. Sendo assim, pode-se analisar a coloração, o efeito de plastificação e retração das amostras, bem como a ação dos agentes fundentes após as queima.

As amostras das argilas, depois da queima e da pulverização, foram submetidas à análise química, na qual foram utilizadas as técnicas de fusão com tetraborato de lítio e perda ao fogo (Pf) determinada pela calcinação a 1000 °C. Os ensaios foram realizados no Laboratório Químico de Geociências na UFPA. A síntese dos resultados dos óxidos identificados nas amostras é apresentada na Tabela 09.

Tabela 09: Elementos químicos principais

AMOSTRA	Temp. °C	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	PF %	COR
<b>70%V+20%CH+10%T</b>	<b>950</b>	<b>64,53</b>	<b>18,69</b>	<b>0,80</b>	<b>5,80</b>	<b>0,30</b>	<b>6,90</b>	<b>V Alaj. Esc.</b>
70%V+20%CH+10%T (replicação)	1000	71,27	18,7	1,00	5,51	0,32	6,95	V Alaj. Esc
<b>70%V+20%CH+10%T</b>	<b>1000</b>	<b>63,39</b>	<b>19,5</b>	<b>0,74</b>	<b>5,84</b>	<b>0,48</b>	<b>6,92</b>	<b>V Alaj. Esc</b>
<b>70%V+20%CH+10%T</b>	<b>1050</b>	<b>63,47</b>	<b>18,7</b>	<b>1,29</b>	<b>5,98</b>	<b>0,24</b>	<b>6,98</b>	<b>V Alaj. Esc</b>
<b>70%V+10%CH+20%T</b>	<b>950</b>	<b>63,08</b>	<b>19,2</b>	<b>0,99</b>	<b>6,33</b>	<b>0,05</b>	<b>6,85</b>	<b>V Alaj. Esc</b>
<b>70%V+10%CH+20%T</b>	<b>1000</b>	<b>63,65</b>	<b>18,9</b>	<b>1,26</b>	<b>5,87</b>	<b>0,37</b>	<b>6,88</b>	<b>V Alaj. Esc</b>
70%V+10%CH+20%T (replicação)	1000	63,50	19,3	1,15	5,81	0,34	6,89	V Alaj. Esc
<b>70%V+10%CH+20%T</b>	<b>1050</b>	<b>63,51</b>	<b>19,4</b>	<b>1,20</b>	<b>5,96</b>	<b>0,02</b>	<b>6,90</b>	<b>V Alaj. Esc</b>
<b>70%V+30%T</b>	<b>950</b>	<b>60,99</b>	<b>19,8</b>	<b>1,50</b>	<b>7,41</b>	<b>0,47</b>	<b>6,30</b>	<b>V Alaj. Esc</b>
<b>70%V+30%T</b>	<b>1000</b>	<b>61,51</b>	<b>19,9</b>	<b>1,49</b>	<b>7,43</b>	<b>0,17</b>	<b>6,45</b>	<b>V Alaj. Esc</b>
70%V+30%T (replicação)	1000	61,35	19,80	1,22	7,14	0,27	6,88	V Alaj. Esc
<b>70%V+30%T</b>	<b>1050</b>	<b>62,24</b>	<b>19,7</b>	<b>1,60</b>	<b>6,79</b>	<b>0,09</b>	<b>6,60</b>	<b>V Alaj. Esc</b>
<b>70%V+30%CH</b>	<b>950</b>	<b>64,20</b>	<b>18,8</b>	<b>1,00</b>	<b>5,73</b>	<b>0,14</b>	<b>6,75</b>	<b>V Alaj. Esc</b>
70%V+30%CH (replicação)	1000	61,66	18,8	0,93	5,67	0,31	6,76	V Alaj. Esc
<b>70%V+30%CH</b>	<b>1000</b>	<b>61,63</b>	<b>19,4</b>	<b>0,90</b>	<b>7,30</b>	<b>0,91</b>	<b>6,83</b>	<b>V Alaj. Esc</b>
<b>70%V+30%CH</b>	<b>1050</b>	<b>62,79</b>	<b>19,2</b>	<b>1,07</b>	<b>6,28</b>	<b>0,52</b>	<b>6,85</b>	<b>V Alaj. Esc</b>



Para uma complementação da análise química, foram feitas análises de absorção atômica de 14 amostras para a identificação de alguns elementos químicos, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 10

Tabela 10: Elementos químicos obtidos pela absorção atômica

AMOSTRA	Temp. °C	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	MnO %	CaO %	Total Tab 3 e 4
70%V+20%CH+10%T (replicação)	950	0,53	0,77	1,53	0,04	< 0,01	99,80---
<b>70%V+20%CH+10%T</b>	<b>950</b>	<b>0,61</b>	<b>0,62</b>	<b>1,68</b>	<b>0,04</b>	< 0,01	<b>99,90</b>
<b>70%V+20%CH+10%T</b>	<b>1000</b>	<b>0,59</b>	<b>0,76</b>	<b>1,68</b>	<b>0,04</b>	< 0,01	<b>99,95</b>
<b>70%V+20%CH+10%T</b>	<b>1050</b>	<b>0,60</b>	<b>0,99</b>	<b>1,66</b>	<b>0,05</b>	< 0,01	<b>99,97</b>
<b>70%V+10%CH+20%T</b>	<b>950</b>	<b>0,52</b>	<b>1,30</b>	<b>1,52</b>	<b>0,04</b>	< 0,01	<b>99,89</b>
<b>70%V+10%CH+20%T</b>	<b>1000</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>1,70</b>	<b>0,04</b>	< 0,01	<b>99,88</b>
<b>70%V+10%CH+20%T</b>	<b>1050</b>	<b>0,53</b>	<b>0,83</b>	<b>1,52</b>	<b>0,04</b>	< 0,01	<b>99,92</b>
<b>70%V+30%T</b>	<b>950</b>	<b>0,50</b>	<b>1,34</b>	<b>1,48</b>	<b>0,05</b>	< 0,01	<b>99,85</b>
<b>70%V+30%T</b>	<b>1000</b>	<b>0,49</b>	<b>0,92</b>	<b>1,46</b>	<b>0,04</b>	< 0,01	<b>99,87</b>
<b>70%V+30%T</b>	<b>1050</b>	<b>0,48</b>	<b>0,90</b>	<b>1,46</b>	<b>0,04</b>	< 0,01	<b>99,91</b>
70%V+30%T(replicação)	1050	0,44	0,66	1,29	0,04	< 0,01	99,10
<b>70%V+30%CH</b>	<b>950</b>	<b>0,61</b>	<b>0,98</b>	<b>1,71</b>	<b>0,04</b>	< 0,01	<b>99,97</b>
<b>70%V+30%CH</b>	<b>1000</b>	<b>0,58</b>	<b>0,70</b>	<b>1,68</b>	<b>0,04</b>	< 0,01	<b>99,98</b>
<b>70%V+30%CH</b>	<b>1050</b>	<b>0,63</b>	<b>0,85</b>	<b>1,71</b>	<b>0,04</b>	< 0,01	<b>99,95</b>

De acordo com Santos (1989), os resultados das doze amostras das análises químicas mais suas replicações, confirmaram a boa qualidade desse material para a fabricação de cerâmica vermelha (tijolo, cerâmica de revestimento).

Os teores resultantes das misturas dos elementos variam de 60,99% a 71,26% para SiO<sub>2</sub>, de 18,70% a 19,90% para o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> respectivamente.

A sílica livre em uma argila causa a redução da plasticidade, como também induz a uma baixa retração linear.

Para os elementos que determinam a cor dos compostos, temos os mais importantes que são Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> variando de 5,51% a 7,43% e o TiO<sub>2</sub> variando de 0,90% a 1,60%.

Os óxidos fundentes K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O variam os seus teores entre 1,29% a 1,71% para K<sub>2</sub>O e 0,60% a 1,34% para o Na<sub>2</sub>O respectivamente. São indesejáveis para materiais refratários, porém fundamentais para a vitrificação de porcelanas e cerâmica branca.

As argilas que contém uma alta porcentagem de agentes fundentes ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ) e também sílica livre, possuem um alto ponto de fusão.

A baixa refratariedade das argilas se deve as altas porcentagens de  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ , óxidos de cálcio e óxidos de magnésio

#### 4.6 Difração de raios-X

Com o objetivo de fazer uma comparação entre a argila estudada no capítulo de caracterização da matéria-prima e a massa-cerâmica mais chamote estudada nos ensaios tecnológicos, foram realizados os testes de difração de raios-X das amostras sinterizadas nas temperaturas de  $950^\circ\text{C}$ ,  $1000^\circ\text{C}$  e  $1050^\circ\text{C}$ .

Esses ensaios de difração de raios-X identificam qualitativamente se os minerais contidos na amostra retirada da jazida e os das amostras de massa-cerâmica mais chamote se mantiveram os mesmos.

Como as temperaturas de queima das amostras não ultrapassaram as temperaturas dos pontos de fusão dos óxidos cerâmicos indicado na Tabela 11, a estrutura cristalina da amostra original retirada da jazida se manteve praticamente a mesma. Ou seja, os resultados obtidos na análise de difração de raios-x, permitiram verificar que as amostras estudadas aleatoriamente nesta dissertação contém minerais do grupo Quartzo, Ilita, Montomorilonita e Koalinita antes da queima assim como após a sua queima.

Tabela 11: Ponto de fusão dos óxidos cerâmicos

<b>Classificação dos Óxidos Cerâmicos</b>		
<b>Óxidos Refratários</b>	$\text{SiO}_2$ à PF $1710^\circ\text{C}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$ à PF $2040^\circ\text{C}$
	$\text{CaO}$ à PF $2500^\circ\text{C}$	$\text{MgO}$ à PF $2800^\circ\text{C}$
<b>Óxidos Fundentes</b>	$\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{B}_2\text{O}_3$	$\text{Pb}_3\text{O}_4$ - $\text{MgO}$
	$\text{CaO}$ - $\text{K}_2\text{O}$	-----
<b>Óxidos Corantes</b>	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{MnO}_2$ ,	Óxidos de Elementos de Transição.

#### 4.6.1 Preparação de Amostras – Método do Pó (difração de raio-x) e resultados.

A etapa de preparação da amostra é fundamental em qualquer técnica instrumental, e está diretamente relacionada ao resultado da análise.

Para avaliar os argilominerais presentes nas amostras de argilas, as lâminas foram preparadas com cada mistura totalizando 14 amostras. Os resultados encontrados estão sintetizados nos Gráficos 10 e 11. As Fotos 24 e 25 indicam a preparação das amostras dos ensaios de difração de raios-x realizados



Foto 24: Preparação da amostra.



Foto 25: Preparação da amostra.

#### 4.6.2 Resultados de difração

O Gráfico 10 mostra o resultado do difratograma o qual indica uma argila caulinitica, com seus picos característicos. Os picos de quartzo (Q) são evidenciados por seu tamanho elevado; isto é devido ao alto grau de cristalinidade do quartzo em relação a caulinita e não à sua concentração em si.

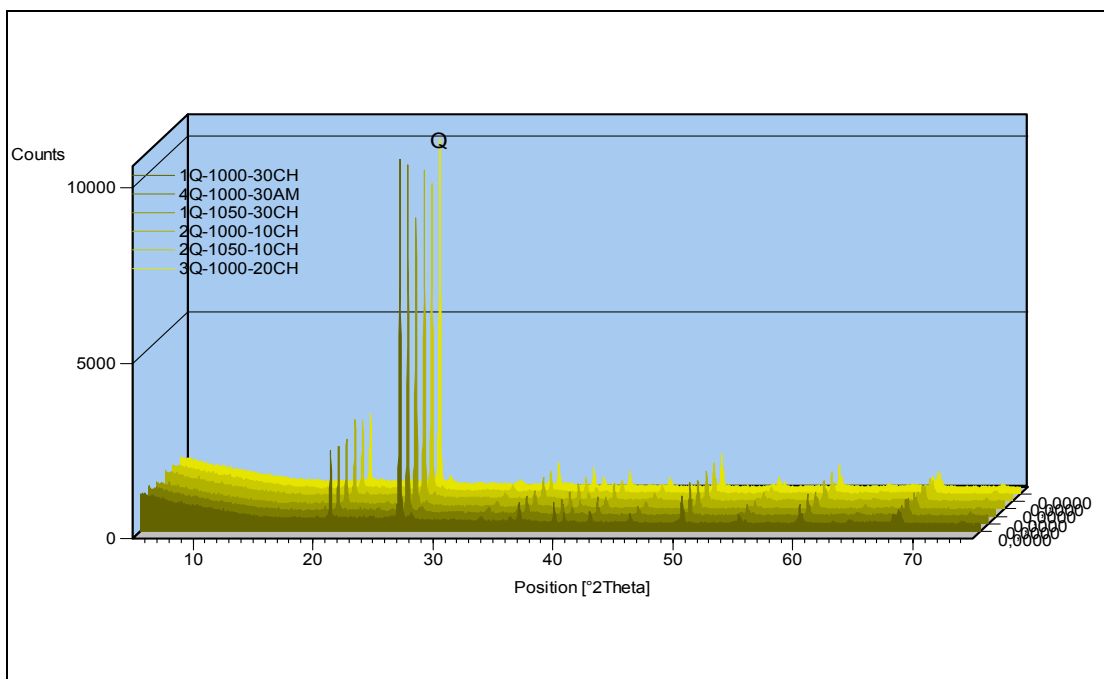


Gráfico10: Resultado das amostras de difração 3D.

Na seqüência as Tabelas de 12 a 16 indicam quais os minerais mais prováveis de serem encontrados nas amostras analisadas.

Tabela 12: Amostra com 30%Chamote e queima a T 1050°C.

Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
01-085-0795	91	Quartz	0,000	0,778	Si O2
00-004-0551	28	Rutile	0,000	0,011	Ti O2
00-001-1053	25	Hematite	0,000	0,008	Fe2 O3
00-001-0613	18	Mullite	0,000	0,006	Al6 Si2 O13

Tabela 13: Amostra com 20% Chamote e queima a T 1000°C.

Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
01-085-0504	95	Quartz	0,000	0,855	Si O2
01-089-8103	30	Hematite,	0,000	0,007	Fe2 O3
00-004-0551	27	Rutile	0,000	0,009	Ti O2
00-001-0613	9	Mullite	0,000	0,004	Al6 Si2 O13

Tabela 14: Amostra com 10% Chamote e queima aT 1000°C.

Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
01-078-2315	94	Quartz	0,000	0,845	Si O2
01-085-0987	30	Hematite	0,000	0,008	Fe2 O3
00-034-0180	19	Rutile,	0,000	0,005	Ti O2
00-001-0613	15	Mullite	0,000	0,007	Al6 Si2 O13

Tabela 15: Amostra com 10% Chamote e queima a T 1050°C.

Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
01-075-0443	92	Quartz	0,000	0,909	Si O2
01-089-8104	38	Hematite,	0,000	0,009	Fe2 O3
00-034-0180	26	Rutile,	0,000	0,007	Ti O2
01-089-2644	16	Mullite,	0,000	0,010	Al ( Al.69 Si1.22 O4.85 )

Tabela 16: Amostra sem Chamote e queima a T 1000°C.

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-085-0795	87	Quartz	0,000	0,862	Si O2
*	01-089-8103	37	Hematite, syn	0,000	0,010	Fe2 O3
*	01-083-2243	28	Anatase, syn	0,000	0,006	Ti O2
*	01-088-1174	24	Rutile, syn	0,000	0,024	Ti O2
*	00-038-0360	27	Moganite	0,000	0,052	Si O2
*	00-001-0613	12	Mullite	0,000	0,007	Al6 Si2 O13

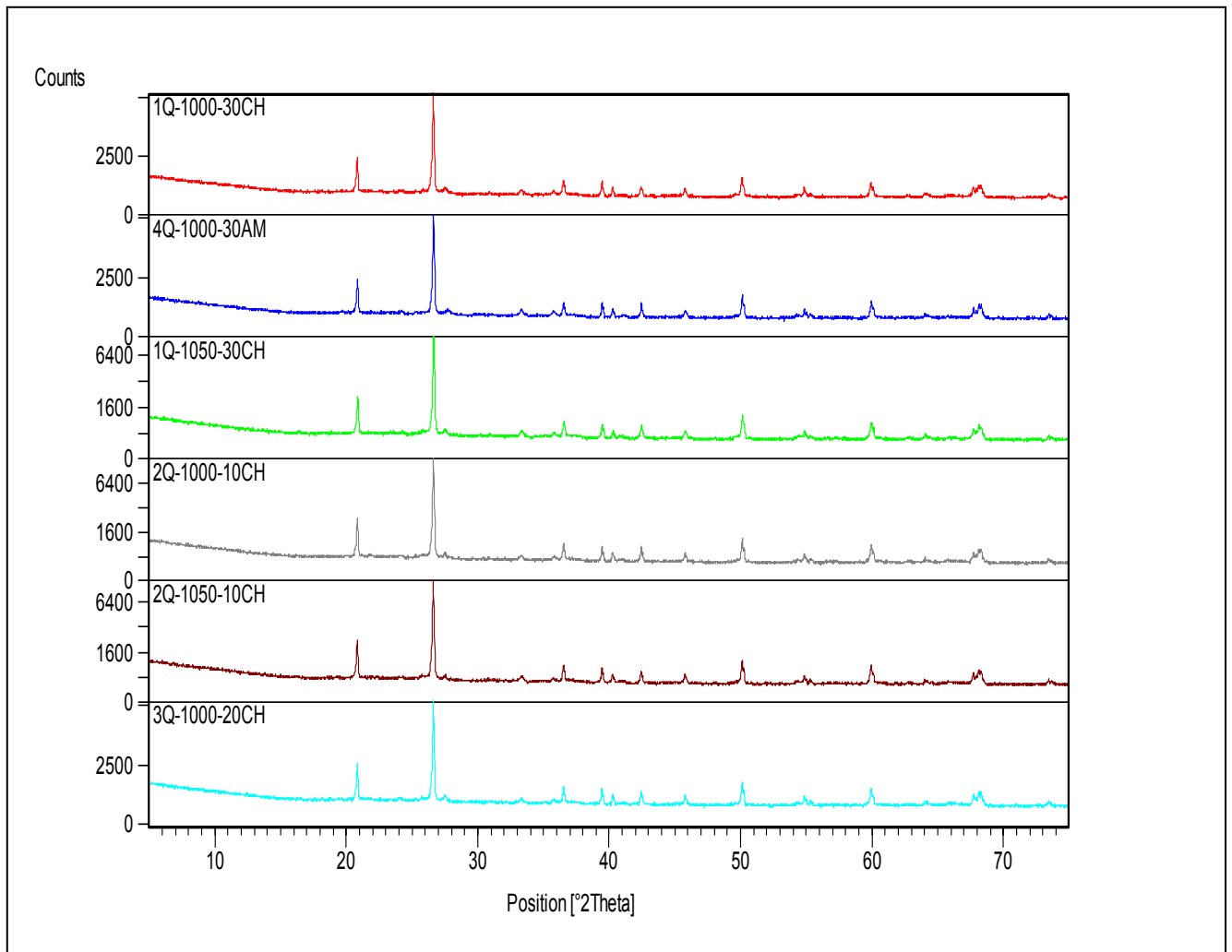


Gráfico11: Análise da difração de raio-X.

#### 4.7 Inovação Tecnológica

De um modo geral a inovação tecnológica envolve o aumento da produtividade com um melhor aproveitamento dos insumos, melhoria do produto final, economia de energia e diminuição de riscos e acidentes de trabalho. Basicamente para uma unidade de produção obter o sucesso no mercado competitivo, ela necessita oferecer produtos que possam ser vendidos com lucros mais elevados e garantir a plena satisfação do cliente.

O conceito de inovação é muito mais abrangente e completo, ele está relacionado, sobretudo com a melhoria dos produtos e processos, mas não necessariamente com o uso da alta tecnologia. Neste caso, a inovação é traduzida

pela introdução de uma tecnologia que agregue valor ao processo produtivo, ao produto final ou ao meio ambiente e que esteja ao alcance das pequenas empresas de uma determinada região.

De acordo com Proença (1996), as buscas incessantes às inovações tecnológicas determinam a relação entre aqueles que desenvolvem e/ou detêm a tecnologia e aqueles que vão utilizá-la em um processo denominado transferência tecnológica.

Desta forma, mediante a pesquisa realizada nesta dissertação que foi possível mostrar que com a inclusão da chamote a massa cerâmica, o resultado da nova mistura possui superioridade em relação às propriedades físicas da massa original, possibilitando um produto final de maior qualidade e maior valor agregado.

A Tabela 17 mostra os níveis de absorção de água segundo a ISO 13006, classificando a cerâmica vermelha em vários grupos.

Conforme os ensaios físicos-mecânicos realizados nas amostras de massa cerâmica mais chamote, em sua grande maioria foi achado um índice de absorção de água superior a 10% o que enquadra a mistura de massa cerâmica contendo chamote dentro do grupo III, conforme a Tabela 17

Tabela 17: Absorção de água.

Conformação	ABSORÇÃO DE ÁGUA			
	GRUPO I $E \leq 3\%$	GRUPO IIa $3\% < E \leq 6\%$	GRUPO IIb $6\% < E = 10\%$	GRUPO III $E > 10\%$
<b>A</b> Extrusão	GRUPO A I	GRUPO A II a	GRUPO A II b	GRUPO A III
<b>B</b> Prensagem	GRUPO B I a $E \leq 0,5\%$	GRUPO B II a	GRUPO B II b	GRUPO B III
	GRUPO B I b $0,5 < e \leq 3\%$			
<b>C</b> Outros processos	GRUPO CI	GRUPO C II		GRUPO C III

Fonte: ISSO 13006.

Segundo a Anfacer (2007), as lajotas, lajotões e plaquetas de revestimento são produtos possíveis de serem produzidos pela matéria-prima que se enquadra no grupo III.

Os produtos provenientes do grupo III são indicados para serem usados principalmente em churrasqueiras, revestimentos internos de paredes e lareiras.

Conforme indicado na Tabela 18, podem-se verificar os limites exigidos dentro das normas da ABNT para o tijolo e telhas e lajotas artesanais, e os resultados obtidos com a nova massa, provando que esta nova mistura poderia ser utilizada na fabricação destes produtos.

Tabela 18: Comparação de absorção de água e tensão de resistência a flexão.

		<b>ABSORÇÃO ÁGUA %</b>	<b>TENSÃO DE RUPTURA À FLEXÃO</b>
<b>Placas Cerâmicas NBR 13817/97</b>	Tipo I (0 a 3%)	<b>a</b> : PORCELANATO 0 a 0,5%;	350 a 500 kgf/cm <sup>2</sup>
		<b>b</b> : GRÉS 0,5 a 3%;	300 a 450 kgf/cm <sup>2</sup>
	Tipo II (3 a 10%)	<b>a</b> : SEMI-GRÉS 3% a 6%;	220 a 350 kgf/cm <sup>2</sup>
		<b>b</b> : SEMI-POROSO 6% a 10%;	180 a 220 kgf/cm <sup>2</sup>
Tipo III		POROSO >10% A 20%	150 a 220 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Cerâmica vermelha NBR 7170/1983</b>		(20 a 25%) (IPT) tijolos	20 kgf/cm <sup>2</sup> (alvenaria) a 55 kgf/cm <sup>2</sup> (estrutural)
<b>Telhas NBR 8947/85 , NBR 6462/86, NBR9602/86</b>		<18% (IPT) e	65 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Massa cerâmica Cecal (70%V+30%T)</b>	950°C	13,68	118,42 kgf/cm <sup>2</sup>
	1000°C	13,48	119,15 kgf/cm <sup>2</sup>
	1050°C	11,23	166,41 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>30%CH+70%V</b>	950°C	14,69	89,52 kgf/cm <sup>2</sup>
	1000°C	12,28	124,46 kgf/cm <sup>2</sup>
	1050°C	12,15	123,08 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>20%CH+10%T+70%V</b>	950°C	14,09	124,64 kg/cm <sup>2</sup>
	1000°C	11,78	148,52 kgf/cm <sup>2</sup>
	1050°C	9,77	211,27 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>10%CH+20%T+70%V</b>	950°C	14,27	118,29 kgf/cm <sup>2</sup>
	1000°C	13,53	131,19 kgf/cm <sup>2</sup>
	1050°C	11,78	180,00kgf/cm <sup>2</sup>



Pode-se perceber que para tijolos os preços praticados são baixos, quando comparado com outros produtos de maior valor agregado, como a telha, revestimento para churrasqueiras e lareiras.

Desta forma, este estudo deixa claro que a adição da chamote a massa cerâmica não somente poderia eliminar a poluição visual, mas também contribuir para a produção de produtos de maior valor agregado.

Não é objetivo principal desta dissertação fazer uma análise de como a olaria deveria ser remodelada para fazer a implantação de uma linha de produção para estes produtos. Isto pode ser feito em um trabalho futuro. Porém pode-se fornecer uma idéia de preço de venda do produto final. Por exemplo, um milheiro de tijolos de tamanho 9cmx19cmx19cm produzido pela cerâmica Cecal, consome 2.200 kg de massa cerâmica. Seu custo de produção é aproximadamente R\$ 120,00 e seu preço de venda na olaria é de R\$ 160,00. Desta forma pode-se concluir que o lucro do produtor é de aproximadamente 33%.

Nota-se que o lucro não é elevado, considerando que no mercado existe uma grande oferta do produto e que o produtor não possui margem para cobrar acima deste valor. Reflete-se, assim, a competição acirrada de preços e a dificuldade pela sobrevivência no mercado pelas empresas fabricantes desses produtos.

Além disso, verifica-se ainda pouca perspectiva de investimento em novos produtos, caracterizando, assim, carência de inovação e estagnação do setor, demonstrando a necessidade de projetos que proporcionem avanços tecnológicos e, conseqüentemente inovações no segmento.

Outro aspecto é que neste tipo de processo produtivo, como foi visto nos capítulos anteriores, se tem uma perda da matéria-prima de 8% a 11%. Esta perda além de exaurir mais rapidamente as fontes não renováveis, polui o ambiente.

Caso a olaria viesse a inovar tecnologicamente com a produção de um produto com valor agregado maior, como por exemplo, placa cerâmica para revestimento de churrasqueiras e lareiras, usando a chamote, ela teria além de um lucro maior, um reaproveitamento dos resíduos gerados na produção de tijolos, uma melhor utilização da matéria-prima e evitaria um impacto ambiental. Por exemplo, caso a olaria viesse a produzir placas cerâmicas para churrasqueiras e lareiras ela iria utilizar 14,4 kg de massa cerâmica mais chamote para produzir 1 m<sup>2</sup> de placa cerâmica que poderiam ser colocadas no mercado a um preço de venda de

R\$16,00/m<sup>2</sup>. Por outro lado o m<sup>2</sup> do tijolo utilizaria 55 kg de massa cerâmica e poderia ser vendido no mercado em Belém do Pará a R\$ 5,00/m<sup>2</sup>.

Sabemos que os custos dos dois processos são diferentes entre si, porém se considerarmos que os dois processos possuem aproximadamente o mesmo custo de produção verificou que para produzir um metro quadrado de cerâmica requisitamos 14,4 kg enquanto um metro quadrado de tijolo (9 x 19 x 19) requer 55kg. Esta mesma quantidade de matéria-prima poderia produzir aproximadamente 3,8 m<sup>2</sup> de cerâmica, com um preço de venda R\$ 60,8. Concluímos com isto que com 55 kg de massa cerâmica temos um produto com uma diferença de preço de venda de 1216% a mais, em relação ao preço de venda do tijolo que é de R\$ 5,00.

A agregação de valor aos produtos é um aspecto fundamental para viabilizar a introdução de novas tecnologias, em função da maioria dos casos requerer investimentos no processo produtivo.

A reciclagem vai ocorrer apenas se o novo material entrar em escala comercial. Assim, a transferência da tecnologia é uma etapa essencial do processo. Para ela o preço do produto é importante, mas não é suficiente. A colaboração entre os diversos atores envolvidos no processo, tais como, geradores do resíduo, potenciais consumidores, agências governamentais encarregadas da gestão do ambiente e das instituições de pesquisa envolvidas, é fundamental para o sucesso da reciclagem, e deverá ocorrer preferencialmente desde o momento em que a pesquisa se inicia.

Além disso, há a necessidade de se convencer os consumidores finais e profissionais que utilizarão ou indicarão os novos produtos com selo ambiental. O uso de documentação e certificados que garantam as vantagens do novo produto, bem como a colaboração de universidades e centros de pesquisa com reputação de excelência no mercado, certamente auxilia no convencimento da qualidade do produto.

O Selo Ambiental de Produto é uma proposta, cujo objetivo é incentivar as indústrias a atenderem a legislação, com relação à proteção ambiental, particularmente à extração de matérias-primas e emissão de poluentes na atmosfera. Desta forma, os produtos fabricados dentro de condições pré-estabelecidas levam um selo ambiental reconhecido por uma instituição neutra.

## 5. CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões desta pesquisa no que se refere ao estudo sobre o reaproveitamento destes rejeitos cerâmicos moídos, denominados chamote, na massa cerâmica base ou padrão.

A pesquisa presente verificou que na fabricação de tijolos as perdas após a queima são da ordem de 8% a 11% da produção. O fato dos resíduos serem rejeitados e ficarem armazenados nos próprios pátios das olarias, ou depositados em locais inadequados, geram problemas ambientais.

Neste estudo de aproveitamento de chamote, foi provado através dos testes físicos e mecânicos que o aproveitamento do resíduo adicionado à massa cerâmica, além de gerar uma matéria-prima de melhor qualidade, pode-se ainda empregá-la na fabricação de outros produtos com um maior valor agregado provando ser possível aumentar a sustentabilidade social e ambiental.

Os resultados totais dos ensaios físicos e mecânicos com a adição de chamote nas temperaturas de 950°C, 1000°C e 1050°C estão apresentados nos apêndices A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M.

O menor índice de porosidade foi de 20,66%, observado na mistura número 3, ou seja, 70% de argila de várzea mais 20% chamote e 10% de taguá, a uma queima de 1050°C. E o maior índice de porosidade foi de 29,38% encontrado na mistura de número 1, ou seja, 70% de argila de várzea mais 30% chamote, a uma queima de 950°C. Todos os outros valores de porosidade aparente encontrados estiveram dentro do máximo permitido segundo o IPT, o índice de porosidade máximo permitido para produtos de cerâmica vermelha queimados a uma temperatura de 950°C é de 35%, e para uma temperatura de 1250°C é de 30% (SANTOS, 1989).

A melhor condição de absorção de água encontrada foi para a mistura número 3, ou seja, 70% de argila de várzea+ 20% chamote e 10% de taguá, com uma queima de 1050°C, que atingiu o valor de 9,77% de absorção de água. A condição mais desfavorável de todo o ensaio de absorção de água foi amostra de número 1, 70% de argila de várzea mais 30% chamote, a uma queima de 950°C, com o valor de 14,69%. Todas as outras amostras resultaram em valores dentro do recomendado pelo IPT (SANTOS, 1989), que são de 18% e para blocos cerâmicos é de 20%.

Como resultado dos ensaios de densidade, temos que todas as amostras estiveram dentro do valor máximo permitido para a cerâmica vermelha segundo Santos (1989), que é abaixo de 2,7%. As duas maiores densidades ficaram com a mistura 3, ou seja, 70% de argila de várzea mais 20% chamote e mais 10% de taguá, com 2,18% a uma queima de 1000°C e 2,11% a uma queima de 1050° respectivamente. A menor densidade foi de 1,99% da mistura 3, a uma queima de 950°C.

A maior retração registrada foi de 3,56% na mistura 4, com 70% de argila de várzea e 30% de taguá, e a menor retração registrada foi de 3,33% para as misturas 2 com 70% de argila de várzea e 10% de chamote e 20% de taguá, e na mistura 3 com 70% de argila de várzea e 20% de chamote e 10% de taguá. Todas as amostras analisadas estão dentro do limite aceitável de retração de secagem a 105°C para cerâmica vermelha que é de 6% (SANTOS, 1989).

Observa-se que para todas as amostras realizadas neste estudo o limite máximo de contração linear após a queima que é de 12% (ABCERAM, 2007). A menor retração após a queima com o valor de 3,77%, refere-se a mistura de número 1, ou seja, com 70% de argila de várzea e 30% de chamote, a uma queima de 950°C. Já a maior retração após a queima foi de 9,33% da mistura de número 2, ou seja, com 70% de argila de várzea e 10% de chamote e 20% de taguá a uma queima de 1000°C.

A maior tensão de ruptura a flexão foi de 211,27 kgf/cm<sup>2</sup> da amostra número 3, ou seja, 70% várzea + 10% chamote + 20 taguá, com uma temperatura de queima de 1050°C. A menor tensão de ruptura a flexão com um valor de 89,52kgf/cm<sup>2</sup>, ocorreu na queima 950°C da primeira amostra, ou seja, 70% várzea + 30% chamote com o valor de. Com relação as amostras restantes os resultados das tensões de ruptura oscilaram entre 118,29kgf/cm<sup>2</sup> até 211,27kgf/cm<sup>2</sup> que estão dentro da tensão de ruptura mínima indicados pela NBR que são; para o tijolo de 55 kgf/cm<sup>2</sup> (NBR 7170/83), para telha é de 65 kgf/cm<sup>2</sup> (NBR 8947/85, 6462/86, 9602/86) e para placas cerâmicas (NBR 13817/97) de revestimentos semi-porosos varia de 180 kgf/cm<sup>2</sup> até 220 kgf/cm<sup>2</sup> e revestimentos porosos varia de 150 kgf/cm<sup>2</sup> até 220 kgf/cm<sup>2</sup>.

Conclui-se através dos resultados dos ensaios de tensão de ruptura a flexão que a massa cerâmica sem chamote ficou no seu limite de utilização para materiais porosos, enquanto a massa cerâmica mais chamote pode-se comprovar sua utilização em revestimentos semi-porosos e porosos.

Com relação à cor de queima obtivemos uma regularidade na tonalidade da cor vermelho alaranjado escuro devido ao elevado teor de ferro encontrado nas amostras.

Os resultados das doze amostras das análises químicas mais suas replicações, confirmaram a boa qualidade desse material para a fabricação de cerâmica vermelha (tijolo, cerâmica de revestimento) através dos seguintes valores obtidos; teores de  $\text{SiO}_2$ , resultantes variam de 60,99% a 71,26% e para o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 18,70% a 19,90% respectivamente. Os elementos que determinam a cor dos compostos, temos os mais importantes que são  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  variando de 5,51% a 7,43% e o  $\text{TiO}_2$  variando de 0,90% a 1,60%. Os óxidos fundentes  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  variam os seus teores entre 1,29% a 1,71% para  $\text{K}_2\text{O}$  e 0,60% a 1,34% para o  $\text{Na}_2\text{O}$  respectivamente.

Através da difração de raios-x antes e depois da queima pudemos verificar os minerais que contém as amostras. Pelo fato das temperaturas de queima das amostras não ultrapassaram as temperaturas dos pontos de fusão dos óxidos cerâmicos indicado na Tabela 06, a estrutura cristalina da amostra original retirada da jazida se manteve praticamente a mesma. Ou seja, os resultados obtidos na análise de difração de raios-x, permitiram verificar que amostra estudada nesta dissertação contém minerais do grupo Quartzo, Ilita, Montomorilonita e Koalinita antes da queima assim como após a sua queima.

Esta pesquisa apresentou as etapas do processo de aproveitamento dos resíduos provenientes da produção de tijolos que podem ser aplicados em olarias no Estado Pará. Foi realizada uma caracterização físico-mecânica, química e mineralógica de quatro misturas de massa cerâmica com resíduos de chamote em três temperaturas de queima. Sucintamente pôde-se provar que a massa cerâmica utilizando resíduos é tecnicamente superior à massa cerâmica produzida sem a utilização de chamote na olaria Cecal. Provou-se também que a massa cerâmica mais chamote pode ser utilizada para gerar produtos de maior valor agregado. Este valor agregado além de fornecer sustentabilidade social ao produtor em termos de um lucro maior gerando possibilidade de salários e condições de trabalho melhores, também oferece sustentabilidade ambiental com a reutilização do resíduo diminuindo a agressão ao meio ambiente e aumentando o tempo de vida útil das fontes de recursos.

## 5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas as principais sugestões para trabalhos futuros:

- Estudar a implantação de uma linha de produção para placas de cerâmica de revestimento utilizando massa cerâmica mais chamota.
- Estudar a viabilidade econômica de colocação no mercado de um produto utilizando a massa cerâmica mais chamota com certificação ambiental, ou seja o selo ambiental.
- Testar outros parâmetros de processo (pressão de compactação da prensagem, temperatura de queima e tempo de queima), tendo como objetivo a redução de custo de produção.
- Avaliar o consumo de biomassa na produção material cerâmico com adição de chamote.
- Estudar o ciclo de vida do produto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT,. **NBR6457: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_ **NBR 7171 - Blocos Cerâmicos para Alvenaria, Especificação.** Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_ **NBR 6502 - Rochas e Solos: Terminologia.** Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_ **NBR 6462 - Telha Cerâmica Tipo Francesa. Determinação de Carga de Ruptura a Flexão.** Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_ **NBR 9602 - Telha Cerâmica Tipo Capa Canal. Determinação de Carga de Ruptura a Flexão.** Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_ **NBR 8947 - Telha Cerâmica. Determinação da Absorção de água.** Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT,. **NBR14724: Informação e Documentação – Trabalhos Acadêmicos - Apresentação.** Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, **NBR ISSO 13817: Placas Cerâmicas para Revestimento, Classificação,** 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, **NBR ISSO 13818: Placas Cerâmicas para Revestimento, Especificação e Métodos de Ensaio,** 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT, **NBR ISSO 10004: Resíduos Sólidos Classificação,** 1987.

AMBRÓSIO M. C. R.; SILVA F. T.; DUAILIBI J. Fh., **Blocos Cerâmicos de Alta Porosidade,** Revista Cerâmica Industrial, 9 (2004), p. 40-46.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Anuário Brasileiro de Cerâmica “ABCeram” 2004.** São Paulo : ABC, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Anuário Brasileiro de Cerâmica “ABCeram” 2003.** São Paulo : ABC, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Anuário Brasileiro de Cerâmica “ABCeram” 2002.** São Paulo : ABC, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Anuário Brasileiro de Cerâmica “ABCeram” 2002.** São Paulo : ABC, 2002.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA – **ANICER**, 2005

BENNETT, H.; RED, R. H. **Chemical Methods of Silcate Analysis.** Pergamon Press, Oxford, 1971.

BETINI, D. G., ICHIHARA, J. A. **A Logística Reversa Aplicada no Setor Madeireiro no Noroeste do Pará.** SIMPEP, 2006.

BETINI, D. G., ICHIHARA, J. A. **A Logística Reversa Aplicada no Setor Oleiro no Estado do Pará.** ENEGEP, 2007.

BUSTAMANTE, G. M.; BRESSIANI, J. C; TAPIA *et al.* **A Indústria Cerâmica Brasileira. Cerâmica Industrial.** São Paulo v.5, n.3, p. 31-36, maio./jun. 2000.

CAMPELO, N. S.; MORAIS, M. R.; ARAGÃO, A. F.; CABRAL, E. M.; REBELO, E. P.; PINHEIRO, S. C.; PAIVA, O. A. **Estudo da Utilização de Resíduo Cerâmico Queimado (Chamote), Oriundo do Pólo Oleiro dos Municípios de Iranduba e Manacapuru – AM, Como Aditivo na Fabricação de Telhas.** Revista cerâmica industrial, 2006.

CHIH-HUANG WENG; DENG-FONG LIN; PEN-CHI CHIANG, **Utilization of Sludge as Brick Materials,** Advances in environmental research, year 7, p.679-685, 2003.

DIAS, J. F. & TOFFOLI, S. M. [CD-ROOM] **Cerâmica Vermelha – A Qualidade Necessária é Possível.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 44, 2000, São Pedro – SP, Anais... São Pedro, 2000.



DNPM – **DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL**, Anuário Mineral Brasileiro, 2006.

DOS SANTOS A. H.; MELNICK V.; OLIVEIRA M. G.; RODRIGUEZ A. M.; BERG E. A. T.; PIANARO S. A. **Caracterização Tecnológica de Rejeitos Industriais de Xisto para Fabricação de Grês Vermelho**, Revista Cerâmica Industrial, 10 (1) janeiro/fevereiro, 2005.

DUALIBI FILHO, J. & CARVALHO, O. O. **Os Números da Vermelha**. Revista Mundo Cerâmico, São Paulo, nº83, p 34-38, set. 2002.

FERNANDES P. F.; **Reaproveitamento do Lodo da Estação de Tratamento de Tratamento de Efluentes de uma Indústria Cerâmica**, UFSC, 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GARCIA H.; NASCENTE, A. **Dicionário Contemporâneo da Língua Portuguesa**: Caldas Aulete. 3º ed. V.1 Rio de Janeiro: Ed. Delta, 1974.

GLANCEY, J. **A História da Arquitetura**. Tradução Luís Carlos Borges & Marcos Marcionilo. São Paulo; Ed. Loyola, 2001.

GODINHO, K. O.; RALULO, T. R.; HOLANDA. J. N. F; SILVA A. G. P. **Incorporação de Resíduo de Vidro em Cerâmica Vermelha**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48., 2004, Curitiba. Anais... Curitiba, 2004.

GOMES, C. F. **Argilas o que São e para que Servem**. Lisboa: Fundação Cal Gulbenkian, 1988. 457p.

GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de Impactos Ambientais de Indústrias de Cerâmica Vermelha do Estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 168p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

HILDEBRANDO, E. A.; SOUZA, J. A. S.; NEVES, R. F. **Aplicação do Rejeito do Processo Bayer (Lama Vermelha) como Matéria-Prima na Indústria de Cerâmica Estrutural**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999. Florianópolis. Anais... Florianópolis, 1999.

HUFNAGEL, O. **Hannbuch für die Ziegelindustrie: Verfahren und Betriebspraxis in der Grobkeramik**, Wiesbaden e Berlin: Bauverlag GmbH, 1992.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/cidades/>>. Acesso em fevereiro 2007.

IPT – **INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS**, 1990, São Paulo, IPT/PRÓ MINÉRIO. 188p. (Publicação n. 1822).

JEFFERY, P. G. **Chemical Methods of Rock Analysis**. Pergamon Press, Oxford, 1975.

JOHN, V. M.; ÂNGULO, S. C. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. In: \_\_\_\_\_. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Porto Alegre : ANTAC, 2003. Cap. 2, p. 9-71

JORDÃO, M. A. P.; ZANDONADI, A. R. **Curso de Matérias-Primas – parte I**. Blumenau : ABC, 1994. 45 p.

JORDÃO, M. A. P.; ZANDONADI, A. R. **Informações Técnica – Anuário Brasileiro de Cerâmica**. Associação Brasileira de Cerâmica, São Paulo 2002. p 24-64.

JÚNIOR, A.; SABOYA, J. R.; PEREIRA, M. J. R; SALLES, C. **Utilização de Sacarose de Cana-de-Açúcar em Preparo de Massas Cerâmicas Vermelhas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999. Florianópolis. Anais... Florianópolis, 1999.

JURAN, J. M. **Planejando para a Qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1992.

KRAUSKOPF, K. B. **Introdução à Geoquímica**. São Paulo: Polígono, 1972.v.1. 294p.

MACEDO, R. S. **Estudo das Matérias-Primas e Tijolos Cerâmicos Furados Produzidos no Estado da Paraíba**. UFB, 1997. 112p. Dissertação (Mestrado Engenharia Química. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Paraíba,1997.

MAIA, G.B.S. **Influência da Secagem na Qualidade de Peças Cerâmicas (Chamota-Argila)**. UFPA, 2004. 138p. Dissertação (Mestrado Engenharia Química), Universidade Federal da Pará, Belém, Pará, 2004.

MACHADO, A. T. **Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria**. 2000 135p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MAXWELL, J.A. **Rock and Mineral Analysis**. New York. John Wiley. 1968.

MELLO, R. M.; SANTOS, T.S.; SILVA D.C.; RODRIGUES, E.P. **Utilização do Resíduo Proveniente do Acabamento de Mármore e Granitos como Matéria-Prima em Cerâmica Vermelha**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48., 2004, Curitiba. Anais... Curitiba, 2004.

MENEZES R. R.; NEVES G. A.; FERREIRA H. C., **O Estado da Arte Sobre o Uso de Resíduos como Matérias-Primas Cerâmicas Alternativas**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v6, n2, p.303-313, (2002).

MENEZES R. R.; FERREIRA H. S.; NEVES G. de A.; FERREIRA H. C., **Uso de Rejeitos de Granitos como Matéria-Primas Cerâmicas**, Cerâmica 48 (306) Abr/Mai/Jun 2002.

MENEZES, R. R., DE ALMEIDA, R. R., SANTANA, L. L., FERREIRA, H. S., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C., **Utilização do Resíduo do Beneficiamento do Caulim na Produção de Blocos e Telhas Cerâmicos**, Universidade Federal de Campina Grande Revista Matéria, v. 12, n. 1, pp. 225 – 235, 2007.

MITIDIERI FILHO, C. V. & CAVALHEIRO, W. **Desenvolvimento do Sistema Construtivo em Painéis Cerâmicos**. In Tecnologia de Edificações. Projeto de divulgação tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: Pini, Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT), Divisão de Edificações, 1988.

MONTEIRO S. N.; VIERA C. M. F., **Effect of Oil Addition to Clay Ceramic**, *Ceramics International*, n.31, 2005, p353-358.

MÜLLER, L.E.; SOARES, J.M.D.; PINTO, C.A. M. *et al.*, **Curso Básico de Cerâmica Vermelha Estrutural**. Santa Maria: UFSM, 1990.135p

NASCIMENTO T. C. F; MOTHÉ C. G, **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais**. Revista *Analytica*, n. 27, fevereiro/março 2007.

OLIVEIRA, A. L. L.; ALEXANDRE, J.; RAMOS, I. **Avaliação do Processo de Queima em um Forno Modelo Caieira**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, n. 46, 2002, São Paulo – SP. Anais... São Paulo, 2002.

OLIVEIRA G. E.; HOLANDA J. N. F., **Análise do Impacto Ambiental Causado Pela Utilização de Resíduo Sólido do Setor Siderúrgico em Cerâmica vermelha**, Revista Cerâmica, n.50, 2004, p. 185 -189.

OSHIMOTO, E.; THOMAZ, E. **Materiais Cerâmicos para Construção Civil**. São Paulo : USP, 1990. 102p.

PENIDO, E. & COSTA, S.S. **Oficinas: Cerâmica**. Rio de Janeiro: Ed. Senac Nacional, 1999.

PINHEIRO, J.R.B. **Notas de Aula: Estabilização de solos**: Santa Maria: UFSM, 2003. 138p.

PINHEIRO, J. R. B; SOARES, J. M. D . **Notas de Aula: Mecânica dos solos**: Santa Maria: UFSM, 2002. 210p.

PORTER, M. E. **COMPETIÇÃO – ON COMPETITION: Estratégias Competitivas Essenciais**. 4<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

PRACIDELLI, S. **Cerâmica Vermelha**. Escola SENAI Armando de Arruda. Pereira. 1989.

QUINTANA, L. M. H. **Avaliação de Matérias-Primas e Produtos Cerâmicos da Região de Bagé (RS)**. 2000. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

RAUPP-PEREIRA, F., HOTZA, D., SEGADÃES, A. M., *et al.*, **Ceramic Formulations Prepared with Industrial Wastes and Natural sub-products**, *Ceramics International*, v. 32, n. 2, pp 173-179, 2006.

REED, J. S. **Principles of Ceramic Processing**. New York: John Wiley & Sons Inc., 2<sup>o</sup> ed., 1995.

REEVES, R. D.; BROOKS, R. R. **Trace Elements Analysis of Geological Materialls**. New York. John Wiley, 1978.

REVERTÉ, P. **La Industria Ladrillera**. Buenos Aires: Editorial Reverté, 1979.

REVISTA MUNDO CERÂMICO – ANO XII – Nº 102, 2003.

RIPOLI FILHO, F. R. **A utilização do Rejeito Industrial Cerâmico – Chamote - Como Fator de Qualidade na Fabricação de Elementos Cerâmicos: Um Estudo Experimental**. Cerâmica, 1996.

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. Introdução. In: \_\_\_\_\_. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Porto Alegre : ANTAC, 2003. Cap. 1, p. 5-7.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Aproveitamento de resíduos na construção. In: \_\_\_\_\_. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. V.4. Porto Alegre : ANTAC. 2003. Cap. 3, p. 73-91.

ROLIM, A. M. **A Reciclagem de Resíduos Plásticos Pós-Consumo em Oito Empresas do Rio Grande do Sul**. 2000.131f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ROMAN, H. R. **Determinação das Características Físicas e Análise Estatística da Capacidade Resistente de Tijolos Cerâmicos Maciços**. Porto Alegre, UFRGS, 1983, 102p Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do rio Grande do Sul, 1983.

SANDELL, E. B. **Colorimetric Determination of Trace Metals**. New York. Intercience Publishing, 1959.

SECTME/SC ,SECRETARIA DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, DAS MINAS E ENERGIA. **Diagnóstico do Setor de Cerâmica Vermelha em Santa Catarina**. Florianópolis: jul. 1990.

STEIL, O. S. **Energia do Gás Natural em Fornos de Cerâmica Estrutural**. Florianópolis: SCGÁS, jul. 2000.

SILVA, N. C.; SILVA, A. D.; GUIMARÃES, M. C.; SORDI, V. L.; MARTINS, C. A. **Qualidade dos Produtos e Relação da Indústria da Construção Civil em São Carlos - SP**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 45, 2001 Florianópolis - SC. Anais... Florianópolis 2001.

SILVA FILHO, E. B.; ALVES, M. C. M.; DA MOTTA, M., **Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas**, Revista Matéria, v. 12, n. 2, pp. 322 – 338, 2007; <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10888>.

SOLIANI, C.; MACHADO, C.; SANTOS, I.S.S.; SILVA, N. I. W.; LUERSEN, L. **Análise de Fluxos no Processo de Fabricação de Cerâmica Vermelha – Estudo de Caso**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 39, 1995, Águas de Lindóia – SP. Anais...Águas de Lindóia, 1995. p 384-388.

SOUZA, J. A. S.; LYAN, R. C. D.; VALENTE, A. R.; NEVES, R. F.. **Caracterização dos Depósitos de Sedimentares Sílico Aluminosos Cauliníticos Utilizados como Matéria Prima para a Indústria de Cerâmica Vermelha das Proximidades de Belém**. In: Congresso Brasileiro de Química; Associação Brasileira de Química, 35, Anais. Salvador – Bahia,1995

SOUZA, J. S. G.; SOUZA, J. A. S. **Fabricação de Tijolos Refratários a Partir de Matérias Primas Sílico - Aluminosas Disponível na Região e de Resíduos da Indústria de Caulim e da Indústria de Bauxita Refratária Que Serão Utilizadas na Construção de Fornos Indústria de Cerâmica Vermelha**. Projeto Apresentado a Secretaria do Meio Ambiente – **SECTAM**, 2001.

SOUZA SANTOS P., **Ciência e Tecnologia de Argilas**, Volume 2 Ed. V.1, Edgard Blücher LTDA, 1989.

SOUZA SANTOS P., **Ciência e Tecnologia de Argilas**, Volume 2 Ed. V.2, Edgard Blücher LTDA, 1992.

TAVARES, I. S. **Estudo de Matérias-Primas Utilizadas na Produção de Cerâmica Vermelha em Santa Maria – RS**. 2002, 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

THOMAZ, E. **Alvenaria para Pequenas Construções: Alguns Dados de Projeto e Execução**. In: Tecnologia de Edificações. Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: Pini, Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT), Divisão de Edificação, 1988. p215-218.

TOFOLI, M. S **Materiais Cerâmicos**. São Paulo: Poli usp, 1997.43p.

VARGAS, A. V., **Métodos Espectro-Analítico, Espectrometria de Absorção Atômica de Chama**. Notas de aula. Universidade Federal do Pará, 2007.

VERÇOSA, E.J. **Materiais de Construção I**. Porto Alegre : Sagra, 1987. 153p.

VIEIRA C. M. F.; SOUZA E. T. A.; MONTEIRO S. N., **Efeito da Incorporação de Chamote no Processamento e Microestrutura de Cerâmica Vermelha**, Cerâmica 50 (2004), p.254-260.

VIEIRA, C. M. F.; INTORNE, S. C.; VERNILLI, F. JR.; MONTEIRO, S. N., **Cerâmica vermelha incorporada com lama fina de aciaria**, Revista Matéria, v. 12, n. 2, pp. 269 – 275, 2007

VOGEL, A. Química Analítica Cuantitativa. Bueno Aires, Editorial Kapelusz, 1969.

XAVIER, G. C.; JÚNIOR, F. S; JÚNIOR, M. P. S. **Estudo da Adição de Resíduos da Serragem do Mármore a Massa de Conformação de Cerâmica Vermelha**. In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 2001. Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2001. 1 CD-ROM.

ZANDONADI, A. R.; OSHIMOTO, E. Cerâmica vermelha. **Curso Internacional de Treinamento em Grupo em Tecnologia Cerâmica**. São Paulo: IPT/JICA, 1991. 20p.

## APÊNDICES



## APÊNDICE A

### TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 30% CHAMOTA - CERÂMICA CECAL - SÃO MIGUEL DO GUAMÁ - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 950 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

Amostra	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi	Pa(%)	Aa (%)	D	R (%) Q	kg	Trf ( kgf/cm2)
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(g)	(g)	(g)						
1	9,00	2,80	1,90	8,70	2,70	1,80	8,50	2,50	1,60	30,06	35,11	17,82	29,21%	14,38%	2,03	5,56%	12,10	69,48
2	9,00	2,80	1,80	8,60	2,70	1,70	8,50	2,50	1,70	41,63	48,45	24,58	28,57%	14,08%	2,03	5,56%	22,70	115,46
3	9,00	2,70	1,80	8,70	2,60	1,50	8,60	2,50	1,50	38,00	44,21	20,20	25,86%	14,05%	1,84	4,44%	16,10	105,19
4	9,10	2,70	1,90	8,90	2,50	1,80	8,90	2,50	1,70	42,34	49,32	25,03	28,74%	14,15%	2,03	2,20%	16,10	81,89
5	9,10	2,80	1,80	8,90	2,70	1,70	8,80	2,60	1,50	36,93	43,12	21,99	29,29%	14,36%	2,04	3,30%	17,90	112,45
6	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,70	8,40	2,60	1,60	47,75	59,58	28,37	37,90%	19,86%	1,91	6,67%	9,00	49,69
7	9,00	2,80	1,80	8,90	2,70	1,70	8,80	2,40	1,70	48,30	56,15	28,61	28,50%	13,98%	2,04	2,22%	21,00	111,27
8	9,00	2,80	1,80	8,80	2,70	1,70	8,80	2,50	1,60	35,38	41,03	20,88	28,04%	13,77%	2,04	2,22%	16,70	95,89
9	9,00	2,70	1,80	8,90	2,60	1,70	8,80	2,50	1,70	34,22	39,79	20,46	28,82%	14,00%	2,06	2,22%	16,60	84,44
10	9,00	2,70	1,80	8,80	2,70	1,70	8,70	2,50	1,60	47,51	55,41	28,05	28,87%	14,26%	2,03	3,33%	12,10	69,48
MÉDIA													29,38%	14,69%	2,00	3,77%	16,03	89,52

## APÊNDICE B

### TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 20% CHAMOTA + 10% ARGILA MORRO - CERÂMICA CECAL - SÃO MIGUEL DO GUAMÁ - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 950 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

Amostra	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi							
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(gramas)	(gramas)	(gramas)	Pa(%)	Aa (%)	D	(%) QUEIM	kg	Trf ( kgf/cm2)	
1	10,00	2,80	1,80	9,50	2,70	1,70	9,40	2,50	1,60	33,86	39,35	19,64	27,85%	13,95%	2,00	6,00%	19,10	109,68	
2	10,00	2,80	1,80	9,50	2,70	1,60	9,50	2,60	1,60	32,53	38,30	19,39	30,51%	15,07%	2,03	5,00%	18,90	104,35	
3	10,00	2,90	1,80	9,50	2,60	1,60	9,40	2,40	1,50	39,31	45,86	23,05	28,72%	14,28%	2,01	6,00%	20,10	136,79	
4	10,00	2,80	1,90	9,60	2,60	1,60	9,50	2,40	1,50	37,64	43,87	21,95	28,42%	14,20%	2,00	5,00%	18,90	128,63	
5	9,90	2,90	1,80	9,40	2,70	1,70	9,50	2,60	1,60	34,26	39,63	19,87	27,18%	13,55%	2,01	4,04%	20,40	112,64	
6	9,90	2,80	1,80	9,40	2,60	1,60	9,20	2,60	1,60	37,24	43,34	21,72	28,21%	14,07%	2,00	7,07%	19,50	107,67	
7	9,80	2,80	1,80	9,60	2,60	1,70	9,50	2,50	1,60	37,57	43,59	21,81	27,64%	13,81%	2,00	3,06%	20,00	114,84	
8	9,90	2,80	1,80	9,50	2,60	1,70	9,40	2,40	1,50	39,22	46,46	23,59	31,66%	15,58%	2,03	5,05%	19,20	130,67	
9	10,00	2,80	1,80	9,60	2,60	1,60	9,40	2,40	1,60	45,56	52,94	26,31	27,71%	13,94%	1,99	6,00%	19,30	115,44	
10	9,80	2,90	1,80	9,30	2,60	1,60	9,20	2,50	1,50	37,43	43,65	22,04	28,78%	14,25%	2,02	6,12%	18,70	122,17	

MÉDIA													28,67%	14,27%	2,01	5,33%	19,41	118,29
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--------	------	-------	-------	--------

## APENDICE C

### TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 10% CHAMOTA + 20% ARGILA MORRO - CERÂMICA CECAL - SÃO MIGUEL DO GUAMÁ - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 950 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

Amostra	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi							
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(gramas)	(gramas)	(gramas)	Pa(%)	Aa (%)	D	(%) QUEIM	kg	Trf ( kg/cm2)	
1	10,00	2,80	1,70	9,60	2,60	1,60	9,50	2,50	1,50	33,26	38,66	19,12	27,64%	13,97%	1,98	5,00%	22,00	143,73	
2	9,70	2,70	1,8	9,20	2,60	1,60	9,00	2,40	1,50	42,44	49,52	24,48	28,27%	14,30%	1,98	7,22%	19,30	131,35	
3	10,10	2,80	1,70	9,70	2,60	1,60	9,50	2,50	1,50	30,28	35,18	17,49	27,70%	13,93%	1,99	5,94%	19,80	129,36	
4	10,00	2,80	1,70	9,30	2,60	1,60	9,20	2,50	1,60	46,38	53,31	26,66	26,00%	13,00%	2,00	8,00%	24,20	138,96	
5	9,90	2,90	1,70	9,40	2,70	1,60	9,30	2,50	1,60	30,54	35,71	17,69	28,69%	14,48%	1,98	6,06%	19,20	110,25	
6	10,00	2,90	1,60	9,50	2,60	1,50	9,40	2,50	1,50	35,68	41,73	20,56	28,58%	14,50%	1,97	6,00%	16,70	109,11	
7	10,00	2,80	1,70	9,60	2,60	1,60	9,30	2,50	1,50	30,47	35,21	17,63	26,96%	13,46%	2,00	7,00%	19,70	128,71	
8	9,90	2,90	1,70	9,50	2,60	1,60	9,20	2,50	1,50	42,44	49,66	24,57	28,78%	14,54%	1,98	7,07%	19,60	128,05	
9	10,10	2,90	1,70	9,60	2,60	1,60	9,50	2,40	1,60	33,54	39,14	19,48	28,48%	14,31%	1,99	5,94%	16,30	97,50	
10	9,90	2,80	1,80	9,40	2,60	1,60	9,30	2,50	1,50	42,24	49,36	24,65	28,81%	14,42%	2,00	6,06%	19,80	129,36	
MÉDIA													27,99%	14,09%	1,99	6,43%	19,66	124,64	

## APÊNDICE D

### TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 30% ARGILA DE MORRO - CERÂMICA CECAL - SÃO MIGUEL DO GUAMÁ - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 950 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

Amostra	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi							
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(gramas)	(gramas)	(gramas)	Pa(%)	Aa (%)	D	R (%) SEC.	(%) QUEIM	kg	Trf ( kgf/cm2)
1	10,00	2,90	1,9	9,5	2,6	1,6	9,3	2,4	1,6	36,15	41,76	21,45	27,62%	13,43%	2,06	5,00%	7,00%	19,70	117,83
2	9,90	3,00	1,8	9,7	2,7	1,7	9,4	2,6	1,7	28,22	33,04	17,20	30,43%	14,59%	2,09	2,02%	5,05%	16,80	82,17
3	9,90	2,70	1,8	9,7	2,6	1,6	9,5	2,4	1,6	34,41	39,80	20,51	27,94%	13,54%	2,06	2,02%	4,04%	17,90	107,07
4	10,00	2,70	1,9	9,4	2,6	1,6	9,4	2,4	1,6	44,16	51,36	26,44	28,89%	14,02%	2,06	6,00%	6,00%	18,20	108,86
5	10,00	2,80	1,9	9,7	2,6	1,6	9,6	2,5	1,6	43,53	50,08	26,06	27,27%	13,08%	2,08	3,00%	4,00%	27,70	159,06
6	10,00	2,80	1,9	9,9	2,6	1,6	9,5	2,5	1,5	38,17	43,95	22,64	27,12%	13,15%	2,06	1,00%	5,00%	19,50	127,40
7	9,90	2,80	1,9	9,6	2,6	1,6	9,4	2,5	1,6	34,60	40,18	20,70	28,64%	13,89%	2,06	3,03%	5,05%	17,60	101,06
8	10,00	2,80	1,9	9,6	2,6	1,6	9,6	2,5	1,6	48,51	56,17	29,00	28,19%	13,64%	2,07	4,00%	4,00%	19,20	110,25
9	9,90	2,80	1,9	9,7	2,6	1,6	9,5	2,5	1,6	36,78	42,65	22,00	28,43%	13,76%	2,07	2,02%	4,04%	18,10	103,93
10	10,00	2,90	1,9	9,8	2,6	1,6	9,7	2,5	1,5	35,22	40,81	21,24	28,56%	13,70%	2,09	2,00%	3,00%	25,50	166,60

MÉDIA													28,31%	13,68%	2,07	3,01%	4,72%	20,02	118,42
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--------	------	-------	-------	-------	--------

## APÊNDICE E

### TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 30% CHAMOTA - CERÂMICA CECAL - SÃO MIGUEL DO GUAMÁ - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 1000 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

AMOSTRA	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi								
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(g)	(g)	(g)	Pa(%)	Aa (%)	D	R (%) S	R (%) Q	kg	Trf ( kgf/cm2)	
1	9,00	2,90	1,90	8,80	2,70	1,80	8,70	2,40	1,50	34,46	39,69	20,54	27,31%	13,18%	2,07	2,22%	3,33%	15,70	106,85	
2	9,00	2,80	1,80	8,60	2,70	1,70	8,70	2,50	1,60	44,30	50,48	26,17	25,42%	12,24%	2,08	4,44%	3,33%	18,60	106,80	
3	9,00	2,70	1,80	8,50	2,60	1,70	8,40	2,40	1,50	45,18	51,86	26,79	26,65%	12,88%	2,07	5,56%	6,67%	18,00	122,50	
4	9,00	2,70	1,90	8,80	2,50	1,70	8,30	2,40	1,40	43,34	49,20	25,56	24,79%	11,91%	2,08	2,22%	7,78%	19,20	150,00	
5	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,70	8,30	2,50	1,50	30,82	35,20	18,29	25,90%	12,44%	2,08	3,33%	7,78%	14,80	96,69	
6	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,70	8,20	2,50	1,40	35,99	41,02	21,31	25,52%	12,26%	2,08	3,33%	8,89%	21,80	163,50	
7	8,90	2,80	1,80	8,50	2,70	1,70	8,50	2,40	1,60	39,49	44,66	23,29	24,19%	11,58%	2,09	4,49%	4,49%	16,70	99,89	
8	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,70	8,30	2,40	1,50	39,57	45,14	23,44	25,67%	12,34%	2,08	3,33%	7,78%	19,10	129,99	
9	9,00	2,80	1,80	8,80	2,70	1,70	8,20	2,50	1,50	42,93	49,00	25,39	25,71%	12,39%	2,08	2,22%	8,89%	18,70	122,17	
10	9,00	2,80	1,90	8,70	2,70	1,80	8,20	2,50	1,40	39,97	45,23	23,56	24,27%	11,63%	2,09	3,33%	8,89%	19,50	146,25	
MÉDIA													25,54%	12,28%	2,08	3,45%	6,78%	18,21	124,46	

## APÊNDICE F

### TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 20% CHAMOTA + 10% ARGILA MORRO - CERÂMICA CECAL - SÃO MIGUEL DO GUAMA - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 1000 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

AMOSTRA	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi								
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(g)	(g)	(g)	Pa(%)	Aa (%)	D	R (%) S	R (%) Q	kg	Trf ( kgf/cm2)	
1	9,00	2,80	1,80	8,70	2,80	1,80	8,40	2,60	1,60	38,25	43,57	22,52	25,27%	12,21%	2,07	3,33%	6,67%	18,30	101,04	
2	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,60	8,00	2,50	1,60	27,55	32,32	16,32	29,81%	14,76%	2,02	3,33%	11,11%	20,30	116,57	
3	9,00	2,90	1,80	8,60	2,80	1,60	8,10	2,40	1,60	36,02	41,32	20,88	25,93%	12,83%	2,02	4,44%	10,00%	23,40	139,97	
4	9,00	2,80	1,70	8,70	2,80	1,60	8,00	2,50	1,60	30,22	35,15	18,10	28,91%	14,03%	2,06	3,33%	11,11%	25,60	147,00	
5	9,00	2,80	1,80	8,70	2,80	1,60	8,20	2,30	1,40	31,27	36,22	18,24	27,53%	13,67%	2,01	3,33%	8,89%	20,40	166,30	
6	9,00	2,80	1,80	8,80	2,70	1,60	8,50	2,50	1,50	28,75	33,80	17,60	31,17%	14,94%	2,09	2,22%	5,56%	16,20	105,84	
7	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,60	8,00	2,30	1,50	44,59	51,33	25,85	26,45%	13,13%	2,01	3,33%	11,11%	22,80	161,91	
8	9,00	2,90	1,80	8,70	2,80	1,60	8,40	2,60	1,60	34,57	39,52	20,30	25,75%	12,53%	2,06	3,33%	6,67%	18,20	100,49	
9	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,60	8,00	2,50	1,60	38,10	44,33	22,26	28,23%	14,05%	2,01	3,33%	11,11%	20,30	116,57	
10	9,00	2,90	1,80	8,70	2,70	1,60	8,00	2,30	1,50	32,75	37,73	19,15	26,80%	13,20%	2,03	3,33%	11,11%	22,00	156,23	

MÉDIA													27,59%	13,53%	2,04	3,33%	9,33%	20,75	131,19
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--------	------	-------	-------	-------	--------

## APÊNDICE G

TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 10% CHAMOTA + 20% ARGILA MORRO - CERÂMICA CECAL - SÃO MIGUEL DO GUAMA - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 1000 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

AMOSTRA	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi								
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(g)	(g)	(g)	Pa(%)	Aa (%)	D	R (%) S	R (%) Q	kg	Trf ( kgf/cm2)	
1	9,00	2,80	1,80	8,70	2,80	1,80	8,60	2,50	1,60	32,38	36,89	19,06	25,29%	12,23%	2,07	3,33%	4,44%	21,20	121,73	
2	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,60	8,50	2,50	1,60	39,93	45,13	23,38	23,91%	11,52%	2,07	3,33%	5,56%	26,70	153,32	
3	9,00	2,90	1,80	8,60	2,80	1,60	8,50	2,50	1,50	31,15	34,58	18,42	21,23%	9,92%	2,14	4,44%	5,56%	26,20	171,17	
4	9,00	2,80	1,70	8,70	2,80	1,60	8,60	2,50	1,60	36,90	41,90	21,73	24,79%	11,93%	2,08	3,33%	4,44%	19,50	111,97	
5	9,00	2,80	1,80	8,70	2,80	1,60	8,20	2,40	1,50	30,25	34,42	17,81	25,11%	12,12%	2,07	3,33%	8,89%	20,40	138,83	
6	9,00	2,80	1,80	8,80	2,70	1,60	8,30	2,40	1,50	37,88	43,17	22,37	25,43%	12,25%	2,08	2,22%	7,78%	24,80	168,78	
7	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,60	8,20	2,50	1,50	40,83	46,41	24,01	24,91%	12,02%	2,07	3,33%	8,89%	22,90	149,61	
8	9,00	2,80	1,80	8,70	2,80	1,80	8,70	2,50	1,60	44,28	50,63	26,29	26,09%	12,54%	2,08	3,33%	3,33%	21,30	122,31	
9	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,60	8,50	2,50	1,60	36,70	41,50	21,47	23,96%	11,57%	2,07	3,33%	5,56%	26,50	152,17	
10	9,00	2,90	1,80	8,70	2,70	1,60	8,20	2,40	1,40	31,85	36,07	24,27	35,76%	11,70%	3,06	3,33%	8,89%	25,00	195,31	

MÉDIA													25,65%	11,78%	2,18	3,33%	6,33%	23,45	148,52
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--------	------	-------	-------	-------	--------

## APÊNDICE H

### TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 30% ARGILA DE MORRO - CERÂMICA CECAL - SÃO MIGUEL DO GUAMÁ - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 1000 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

AMOSTRA	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi								
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(g)	(g)	(g)	Pa(%)	Aa (%)	D	R (%) S	R (%) Q	kg	Trf ( kgf/cm2)	
1	9,00	2,80	1,80	8,70	2,80	1,80	8,80	2,60	1,70	31,00	35,75	18,37	27,33%	13,29%	2,06	3,33%	2,22%	16,80	82,17	
2	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,60	8,70	2,40	1,60	48,83	55,82	28,75	25,82%	12,52%	2,06	3,33%	3,33%	23,70	141,76	
3	9,00	2,90	1,80	8,80	2,80	1,60	8,70	2,60	1,60	33,17	38,45	19,88	28,43%	13,73%	2,07	2,22%	3,33%	12,80	70,67	
4	9,00	2,80	1,70	8,90	2,80	1,60	8,80	2,40	1,60	28,92	33,18	17,21	26,68%	12,84%	2,08	1,11%	2,22%	16,20	96,90	
5	9,00	2,80	1,80	8,70	2,80	1,60	7,90	2,20	1,40	27,96	32,42	16,79	28,53%	13,76%	2,07	3,33%	12,22%	21,00	178,98	
6	9,00	2,80	1,80	8,80	2,70	1,60	8,10	2,40	1,50	41,01	47,40	24,37	27,75%	13,48%	2,06	2,22%	10,00%	26,60	181,03	
7	9,00	2,80	1,80	8,50	2,70	1,60	7,90	2,50	1,50	31,79	36,55	18,95	27,05%	13,02%	2,08	5,56%	12,22%	17,60	114,99	
8	9,00	2,80	1,80	8,50	2,80	1,80	7,90	2,60	1,70	45,28	52,25	26,87	27,46%	13,34%	2,06	5,56%	12,22%	16,80	82,17	
9	9,00	2,80	1,70	8,70	2,70	1,60	8,60	2,40	1,60	25,12	29,96	15,04	32,44%	16,15%	2,01	3,33%	4,44%	23,70	141,76	
10	9,00	2,80	1,80	8,50	2,70	1,60	8,00	2,30	1,40	35,26	40,36	20,81	26,09%	12,64%	2,06	5,56%	11,11%	12,40	101,09	

MÉDIA													27,76%	13,48%	2,06	3,56%	7,33%	18,76	119,15
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--------	------	-------	-------	-------	--------



|



|

|



## APÊNDICE I

### TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 30% CHAMOTA - CERÂMICA CECAL - SAO MIGUEL DO GUAMA - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 1050 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

AMOSTRAS	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi						
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(g)	(g)	(g)	Pa(%)	Aa (%)	D	%) QUEI	kg	f ( kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9,00	2,80	1,90	8,60	2,70	1,80	8,20	2,50	1,50	31,19	35,36	18,11	24,17%	11,79%	2,05	8,89%	17,40	113,68
2	9,00	2,80	1,80	8,60	2,70	1,70	8,90	2,50	1,60	27,26	31,95	15,80	29,04%	14,68%	1,98	1,11%	22,50	129,20
3	9,00	2,70	1,80	8,50	2,60	1,50	8,30	2,50	1,60	32,83	37,38	19,13	24,93%	12,17%	2,05	7,78%	21,50	123,46
4	9,00	2,70	1,90	8,60	2,50	1,70	8,50	2,50	1,60	30,43	34,51	17,72	24,30%	11,82%	2,06	5,56%	29,20	167,67
5	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,70	8,30	2,50	1,70	37,59	42,63	21,91	24,32%	11,82%	2,06	7,78%	15,10	76,81
6	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,70	8,40	2,50	1,60	30,49	34,53	17,81	24,16%	11,70%	2,07	6,67%	23,80	136,66
7	9,00	2,80	1,80	8,60	2,70	1,70	8,30	2,60	1,60	45,21	51,08	26,32	23,71%	11,49%	2,06	7,78%	21,20	117,05
8	9,00	2,80	1,80	8,70	2,70	1,70	8,40	2,50	1,60	41,78	47,66	24,35	25,23%	12,34%	2,04	6,67%	23,70	136,09
9	9,00	2,80	1,80	8,60	2,70	1,70	8,30	2,60	1,60	47,48	53,60	27,55	23,49%	11,42%	2,06	7,78%	21,20	117,05
10	9,00	2,80	1,90	8,70	2,70	1,80	8,50	2,50	1,70	48,39	55,18	28,21	25,18%	12,31%	2,05	5,56%	22,10	112,41
MEDIA													24,85%	12,15%	2,05	6,56%	21,77	123,01

## APÊNDICE J

### TESTES FISICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 20% CHAMOTA + 10% ARGILA MORRO - CERAMICA CECAL - SAO MIGUEL DO GUAMA - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 1050 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

AMOSTRAS	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi							
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(g)	(g)	(g)	Pa(%)	Aa (%)	D	%) QUEI	kg	f ( kgf/cm <sup>2</sup> )	
1	10,00	2,80	1,80	9,50	2,70	1,70	9,20	2,50	1,50	34,90	39,57	20,19	24,10%	11,80%	2,04	8,00%	27,10	177,05	
2	10,00	2,80	1,80	9,50	2,60	1,60	9,40	2,40	1,40	29,48	33,31	17,03	23,53%	11,50%	2,05	6,00%	29,10	227,34	
3	10,00	2,90	1,80	9,50	2,60	1,60	9,20	2,50	1,40	30,85	35,02	18,03	24,54%	11,91%	2,06	8,00%	28,70	215,25	
4	10,00	2,80	1,90	9,60	2,60	1,60	9,20	2,40	1,50	45,82	52,46	27,14	26,22%	12,66%	2,07	8,00%	24,10	164,01	
5	9,90	2,90	1,80	9,40	2,60	1,70	9,10	2,40	1,50	34,66	39,11	20,07	23,37%	11,38%	2,05	8,08%	27,00	183,75	
6	9,90	2,80	1,80	9,40	2,60	1,60	9,10	2,50	1,50	32,76	37,17	19,18	24,51%	11,86%	2,07	8,08%	26,20	171,17	
7	9,80	2,80	1,80	9,40	2,60	1,60	9,10	2,40	1,60	31,27	35,30	18,10	23,43%	11,42%	2,05	7,14%	24,10	144,15	
8	10,00	2,80	1,90	9,60	2,60	1,60	9,20	2,40	1,50	43,19	49,00	25,00	24,21%	11,86%	2,04	8,00%	27,20	185,11	
9	9,90	2,90	1,80	9,40	2,60	1,70	9,10	2,40	1,50	48,88	55,34	28,22	23,82%	11,67%	2,04	8,08%	24,10	164,01	
10	9,80	2,90	1,80	9,40	2,60	1,60	9,00	2,40	1,50	28,27	32,05	16,54	24,37%	11,79%	2,07	8,16%	24,70	168,10	
MÉDIA													24,21%	11,78%	2,05	7,75%	26,23	180,00	

## APÊNDICE K

### TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 10% CHAMOTA + 20% ARGILA MORRO - CERÂMICA CECAL - SÃO MIGUEL DO GUAMA - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 1050 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

AMOSTRAS	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi							
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(g)	(g)	(g)	Pa(%)	Aa (%)	D	% QUEI	kg	f ( kgf/cm <sup>2</sup> )	
1	10,00	2,90	1,90	9,50	2,60	1,60	9,20	2,50	1,50	33,03	36,61	19,38	20,78%	9,78%	2,12	8,00%	31,40	205,15	
2	9,90	2,80	1,80	9,70	2,70	1,70	9,40	2,40	1,40	32,87	36,79	19,53	22,71%	10,66%	2,13	5,05%	29,80	232,81	
3	9,90	2,70	1,80	9,70	2,60	1,60	9,20	2,50	1,40	35,50	39,83	21,22	23,27%	10,87%	2,14	7,07%	30,20	226,50	
4	10,00	2,70	1,90	9,40	2,60	1,60	9,40	2,40	1,50	33,36	36,86	19,38	20,02%	9,50%	2,11	6,00%	31,90	217,10	
5	10,00	2,80	1,90	9,50	2,60	1,60	9,00	2,40	1,60	43,58	47,85	25,04	18,72%	8,92%	2,10	10,00%	33,40	199,78	
6	10,00	2,90	1,90	9,80	2,60	1,60	9,70	2,50	1,60	39,08	43,52	22,72	21,35%	10,20%	2,09	3,00%	36,90	211,89	
7	9,90	2,80	1,90	9,60	2,60	1,60	9,20	2,40	1,50	35,08	38,58	20,45	19,31%	9,07%	2,13	7,07%	34,30	233,43	
8	10,00	2,80	1,80	9,70	2,70	1,70	9,40	2,40	1,40	49,12	54,34	28,68	20,34%	9,61%	2,12	6,00%	31,20	243,75	
9	9,90	2,70	1,80	9,70	2,60	1,60	9,20	2,50	1,40	50,58	56,07	29,52	20,68%	9,79%	2,11	7,07%	29,10	218,25	
8	10,00	2,90	1,90	9,50	2,60	1,60	9,00	2,50	1,60	38,92	42,89	22,43	19,40%	9,26%	2,10	10,00%	21,60	124,03	

MEDIA													20,66%	9,77%	2,11	6,93%	30,98	211,27
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	-------	------	-------	-------	--------

## APÊNDICE L

### TESTES FÍSICOS

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 30% ARGILA DE MORRO - CERÂMICA CECAL - SÃO MIGUEL DO GUAMA - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 1050 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

AMOSTRAS	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi							
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(g)	(g)	(g)	Pa(%)	Aa (%)	D	% QUEI	kg	f ( kgf/cm <sup>2</sup> )	
1	10,00	2,80	1,70	9,60	2,60	1,60	9,00	1,40	2,40	34,91	38,87	19,51	20,45%	10,19%	2,01	10,00%	29,60	134,90	
2	9,70	2,70	1,80	9,20	2,60	1,60	8,90	2,50	1,50	31,81	35,84	18,18	22,82%	11,24%	2,03	8,25%	24,40	159,41	
3	10,10	2,80	1,70	9,70	2,60	1,60	9,50	2,30	1,40	40,41	45,75	23,11	23,59%	11,67%	2,02	5,94%	25,30	206,25	
4	10,00	2,80	1,70	9,30	2,60	1,60	8,90	2,40	1,50	34,02	38,48	19,50	23,50%	11,59%	2,03	11,00%	24,50	166,74	
5	9,90	2,90	1,70	9,40	2,70	1,60	9,00	2,50	1,50	29,75	33,61	17,40	23,81%	11,48%	2,07	9,09%	21,70	141,77	
6	10,00	2,90	1,70	9,50	2,60	1,50	9,10	2,50	1,50	30,61	34,80	17,48	24,19%	12,04%	2,01	9,00%	22,20	145,04	
7	10,10	2,90	1,70	9,60	2,60	1,60	9,20	2,40	1,50	24,89	28,49	14,32	25,41%	12,64%	2,01	8,91%	19,80	134,75	
8	10,00	2,80	1,70	9,30	2,60	1,60	8,90	2,40	1,50	41,01	45,61	22,94	20,29%	10,09%	2,01	11,00%	29,60	201,44	
9	9,90	2,90	1,70	9,40	2,70	1,60	9,00	2,50	1,50	46,35	52,01	26,38	22,08%	10,88%	2,03	9,09%	24,40	159,41	
10	9,90	2,80	1,80	9,40	2,60	1,60	9,00	2,40	1,50	33,03	36,89	18,74	21,27%	10,46%	2,03	9,09%	31,50	214,38	
MEDIA													22,74%	11,23%	2,03	9,14%	25,30	166,41	



## APÊNDICE M

SITUAÇÃO GEO: 70% ARGILA RIO + 30% ARGILA DE MORRO - CERÂMICA CECAL - SAO MIGUEL DO GUAMA - PA

TEMPERATURA DE QUEIMA: 1050 C

TEMPO DE QUEIMA: 6 HORAS

AMOSTRAS	Dimensão (cm)			R Secagem 100 c			R pós queima			Ps	Pu	Pi							
	L	b	h	L	b	h	L	b	h	(g)	(g)	(g)	Pa(%)	Aa (%)	D	R (%) SEC	(%) QUEIM	kg	Trf ( kgf/cm2)
1	10,00	2,90	1,90	9,50	2,60	1,60	9,20	2,50	1,50	33,03	36,61	19,38	20,78%	9,78%	2,12	5,00%	8,00%	29,60	193,39
2	9,90	2,80	1,80	9,70	2,70	1,70	9,40	2,40	1,40	32,87	36,79	19,53	22,71%	10,66%	2,13	2,02%	5,05%	24,40	190,63
3	9,90	2,70	1,80	9,70	2,60	1,60	9,20	2,50	1,40	35,50	39,83	21,22	23,27%	10,87%	2,14	2,02%	7,07%	25,30	189,75
4	10,00	2,70	1,90	9,40	2,60	1,60	9,40	2,40	1,50	33,36	36,86	19,38	20,02%	9,50%	2,11	6,00%	6,00%	24,50	166,74
5	10,00	2,80	1,90	9,50	2,60	1,60	9,00	2,40	1,60	43,58	47,85	25,04	18,72%	8,92%	2,10	5,00%	10,00%	21,70	129,80
6	10,00	2,90	1,90	9,80	2,60	1,60	9,70	2,50	1,60	39,08	43,52	22,72	21,35%	10,20%	2,09	2,00%	3,00%	22,20	127,48
7	9,90	2,80	1,90	9,60	2,60	1,60	9,20	2,40	1,50	35,08	38,58	20,45	19,31%	9,07%	2,13	3,03%	7,07%	19,80	134,75
8	10,00	2,80	1,80	9,70	2,70	1,70	9,40	2,40	1,40	49,12	54,34	28,68	20,34%	9,61%	2,12	3,00%	6,00%	29,60	231,25
9	9,90	2,70	1,80	9,70	2,60	1,60	9,20	2,50	1,40	50,58	56,07	29,52	20,68%	9,79%	2,11	2,02%	7,07%	24,40	183,00
10	10,00	2,90	1,90	9,50	2,60	1,60	9,00	2,50	1,60	38,92	42,89	22,43	19,40%	9,26%	2,10	5,00%	10,00%	31,50	180,88
MÉDIA													20,66%	9,77%	2,11	3,51%	6,93%	25,30	172,77